

UNIVERSITÉ DE PARIS

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE

Année 1916-1917.

N° 5.

DES EAUX NATURELLES ET DE LEUR STÉRILISATION

THÈSE

Pour l'obtention du diplôme de Docteur de l'Université de Paris
(Pharmacie)

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE LE 7 JUILLET 1917

PAR

LOUIS VERNIN

PHARMACIEN DE 1^{re} CLASSE DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PARIS
DIRECTEUR FONDATEUR DES USINES ET LABORATOIRES GALÉNIQUES DE MELUN

JURY { MM. M. DELÉPINE, Président.
MOUREU, Professeur.
SOMMELET, Agrégé.

MELUN
E. LEGRAND, IMPRIMEUR BREVETÉ
23, RUE BANCEL, 23

—
1917



Digitized by the Internet Archive
in 2026.

UNIVERSITÉ DE PARIS

ECOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE

Année 1916-1917,

N° 5.

DES EAUX NATURELLES ET DE LEUR STÉRILISATION

THÈSE

Pour l'obtention du diplôme de Docteur de l'Université de Paris
(Pharmacie)

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE LE JUILLET 1917

PAR

LOUIS VERNIN

PHARMACIEN DE 1^{re} CLASSE DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PARIS

DIRECTEUR FONDATEUR DES USINES ET LABORATOIRES GALÉNIQUES DE MELUN

JURY { MM. M. DELÉPINE, Président.
MOUREU, Professeur.
SOMMELET, Agrégé.

MELUN

E. LEGRAND, IMPRIMEUR BREVETÉ

23, RUE BANCEL, 23

1917



PERSONNEL DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE

ADMINISTRATION

MM. H. GAUTIER, Directeur, *, § I.
BOURQUELOT, Assesseur, *, § I.
G. DURSENT, Secrétaire, § I.

PROFESSEURS

MM. GUIGNARD, Membre de l'Institut,
O. *, § I. Botanique générale.
VILLIERS, *, § I. Chimie analytique.
BOURQUELOT, *, § I. Pharmacie galénique.
H. GAUTIER, *, § I. Chimie minérale.
RADAIS, *, § I. Cryptogamie.
BÉHAL, O. *, § I. Chimie organique.
PERROT, *, § I. Matière médicale.
COUTIÈRE, *, § I. Zoologie.
BERTHELOT, § I. Physique.
GRIMBERT, *, § I. Chimie biologique.
MOUREU, Membre de l'Institut,
*, § I. Pharmacie chimique.
LEBEAU, § I. Toxicologie.
DELÉPINE, § I. Hydrologie et Hygiène.

Directeur honoraire : M. GUIGNARD, O. *, § I.

Professeur honoraire : M. BOUCHARDAT, O. *, § I.

CHARGÉS DE COURS

MM. GUERBET, § I, Minéralogie.
MARC HONNORAT, § I, Législation et Déontologie pharmaceutiques.

AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM. GUERBET, § I.	MM. DAMIENS.	MM. GORIS, § I.
VALEUR, *, § I.	TASSILLY, § I.	LAUNOY.
BOUGAULT, § I.	GUÉRIN, § I.	HÉRISSEY, § I.
SOMMELET, § I.	LUTZ, § I.	

CHEFS DES TRAVAUX PRATIQUES

MM. DEFACQZ. § I. Chimie générale.
COUSIN, § I. Chimie analytique.
SOUÈGES, § A. Micrographie.
MOURLOT, § I. Physique.
BARTHELAT, *, § I. Microbiologie.
JAVILLIER, § I. Travaux généraux de 4^e année.

Chef du Laboratoire des examens pratiques : M. JAVILLIER, § I.

Bibliothécaire en chef : M. DORVEAUX, § I.

DES EAUX NATURELLES ET DE LEUR STÉRILISATION

INTRODUCTION

Le but de ce travail est d'apporter une pierre au monument que des ouvriers plus habiles, certes, ont déjà élevé pour la défense de l'humanité contre les ennemis innombrables et infiniment petits qui l'entourent, ennemis d'autant plus dangereux que rien ne révèle leur existence ou que le public ignorant en méconnaît les méfaits et ne fait aucun effort pour les combattre. Parmi ces ennemis, ceux que véhicule l'eau ne sont pas les moindres et rien de ce qui assure l'hygiène de l'eau ne devrait nous laisser indifférent. C'est dans le but de faire connaître les efforts innombrables accomplis dans cette voie, que nous avons entrepris ce travail, espérant que leur divulgation ferait plus que jamais sentir la nécessité de la bonne qualité des eaux potables. A défaut de recherches originales étendues, pour nous difficiles à exécuter dans les temps actuels, nous pensons que l'on nous saura gré néanmoins de la documentation que nous apportons sur ce vaste sujet.

Les terribles événements de l'heure présente démontrent surabondamment quels magnifiques résultats ont été obtenus par l'observation des règles de l'hygiène. Car, à part quelques rares exceptions, l'état sanitaire de nos armées est resté excellent. Et cependant, jamais une telle agglomération d'hommes ne s'est vue en aucun temps, ni jamais les conditions de combat n'ont été plus dures. Le bénéfice d'un tel état sanitaire a des causes diverses, dont la plus importante est certainement la surveillance de l'eau de boisson. Jamais les autorités militaires n'ont cessé de s'en occuper sur le front. Mais aussi quel résultat, si l'on compare avec ce qui s'est passé autrefois.



Il n'est pas besoin de remonter jusqu'à l'époque des guerres médiques pour voir l'armée des Perses fondant comme neige au soleil durant leur retraite, ni même au moyen âge pour voir celles des Croisés décimées par les fièvres et la dysenterie.

Citons quelques chiffres précis pris sur des événements plus récents. C'est ainsi, pour ne citer que quelques exemples, qu'au cours de la campagne de Russie de 1812, un tiers des soldats de Napoléon périt de la dysenterie sur le Dniester. En 1855, l'armée française de Crimée perdit 12.500 hommes du choléra. Aux Etats-Unis, pendant la Guerre de Sécession, il y eut en tout 75.000 cas de typhoïde et 27.000 décès par cette maladie. La guerre de 1870-1871 fut également marquée par de nombreuses morts dues à la fièvre typhoïde et à la dysenterie, c'est-à-dire à des maladies d'origine nettement hydrique comme nous le verrons au cours de ce travail (1).

L'honneur des moyens de défense en campagne contre les germes nocifs de l'eau, eau qu'il faut prendre et consommer là où on se trouve, quel que soit son aspect ou sa qualité, revient surtout au corps des pharmaciens militaires et surtout des pharmaciens ayant servi aux Colonies, c'est-à-dire dans des pays où les eaux sont toujours à peu près impropres à l'alimentation et fortement souillées. Nous verrons dans les chapitres qui suivent la genèse de la découverte de ces moyens de défense.

Pour mieux la saisir, il est tout naturel que nous exposions d'abord comment il se fait que l'eau naturelle puisse être nocive et comment elle transmet la maladie, de sorte que notre travail se subdivise de lui-même en deux parties, la première concernant les eaux naturelles et leurs dangers, la seconde, leur purification. Chacune de ces parties se subdivisera à son tour en un certain nombre de chapitres, répartis de la façon suivante :

PREMIÈRE PARTIE

Sur les eaux naturelles et leurs dangers

CHAPITRE PREMIER. — Contamination des eaux et dangers des eaux contaminées.

CHAPITRE II. — Maladies d'origine microbienne transmises par les eaux.

CHAPITRE III. — Accidents dus aux matières minérales des eaux.

CHAPITRE IV. — Surveillance des eaux.

1, Bull. off. internat. hyg. — T. 8, 1916, p. 374.

DEUXIÈME PARTIE

Purification des eaux

CHAPITRE PREMIER. — Purification naturelle.

CHAPITRE II. — Purification artificielle : procédés physiques ou chimiques, comparables aux procédés naturels.

CHAPITRE III. — Purification artificielle : stérilisation par les procédés chimiques.

A. Procédés chimiques divers.

B. Procédés aux halogènes.

C. Procédés utilisant le chlore ou ses composés.

D. Procédés au permanganate.

CHAPITRE IV. — Recherches sur la conservation des comprimés Froment-Lambert.

CHAPITRE V. — Recherches bactériologiques sur les dépôts formés lors de l'emploi des poudres ou comprimés Froment-Lambert.

Nous avons dû limiter ce travail et l'avons arrêté au 1^{er} novembre 1916, car jamais la question de l'eau pure n'a été autant d'actualité et chaque semaine voit paraître des observations ayant trait à l'épuration des eaux. Ce sujet, comme je l'entends, a une corrélation immédiate et vérifiée de la cause aux effets, ne remontant pas à bien des années en arrière ; les documents sont relativement récents, quelques-uns même datent de la guerre actuelle, et je ne cite que les cas où la corrélation me semble bien établie.

De tout temps, l'eau a été le vecteur des maladies qu'elle transmet de nos jours ; mais la bactériologie n'existant pas, on ne pouvait en définir les causes, par suite en combattre les effets.

Avant d'aborder notre sujet, il nous est agréable de rappeler le précieux concours que nous ont apporté deux des pharmaciens militaires qui ont précisément mis au point un des meilleurs procédés de stérilisation des eaux, MM. Froment et Georges Lambert ; en collaborant à la mise sur pied industrielle de leur procédé, nous avons eu la satisfaction d'apporter notre faible contingent à une œuvre utile, et celle non moins grande, d'y gagner des amitiés précieuses, nées au cours de nos travaux scientifiques communs.

Nous ne saurions passer sous silence le bon accueil fait par M. le professeur Delépine à nos projets de thèse et lui exprimer notre reconnaissance pour la sympathie avec laquelle il a suivi et guidé nos efforts.

Je remercie également M. le professeur Moureu et M. le professeur agrégé Sommelet, et les prie d'agréer l'expression de ma gratitude pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de juger ce travail.

PREMIÈRE PARTIE

Sur les Eaux naturelles et leurs dangers

CHAPITRE PREMIER

Contamination des eaux et danger des eaux contaminées

L'eau que nous trouvons à la surface du globe et que nous utilisons pour notre consommation journalière, n'est jamais pure. Elle est toujours, même la plus limpide, souillée par les éléments avec lesquels elle se trouve en contact, les terrains qu'elle traverse, l'air qui vient en lécher la surface.

La contamination par le sol est de beaucoup plus importante, c'est ce qu'exprimait du reste Pline il y a 1.800 ans, en écrivant : *Tales sunt aquae qualis est terra per quam fluunt*. L'auteur latin ne faisait en cela que reprendre une idée d'Hippocrate qui, pour la même cause, considérait comme suspectes les eaux des lacs et des marais, et les accusait de provoquer la dysenterie chez ceux qui en buvaient.

Or les sels solubles que peut dissoudre l'eau en circulant à la surface du globe ne sont pas ce qu'il faut parfois craindre le plus. Là n'est pas le danger, il réside avant tout dans les matières organiques et les infiniment petits dont l'eau peut se charger et se charge le plus souvent du fait de la faute de l'homme. Voyons à ce sujet ce qui se passe de nos jours pour l'eau d'alimentation des campagnes.

L'habitant de la campagne proprement dit n'a à sa disposition en général, que trois modes d'alimentation : les *puits*, les *citernes*, les *sources*.

L'eau fournie par les puits est loin d'être toujours bonne par elle-même. Elle provient d'une nappe qui, dans les terrains calcaires, souvent pleins de fissures et de crevasses, est sujette à de nombreuses contaminations. Le danger est moindre lorsque les puits sont creusés dans des terrains sablonneux, mais à la campagne, ne l'oublions pas, les puits sont le plus souvent creusés à côté du fumier ou des lieux d'aisances. D'où infiltration et pollution par les matières fécales et, qui plus est, risque d'infection de tous les autres puits et sources s'alimentant à la même nappe.

L'eau des citernes présente à ce sujet un peu plus de garantie ; les seuls germes que contient en général l'eau des citernes sont des germes d'ordre banal vivant sur les toitures. Le danger n'en persiste pas moins, car la plupart des citernes présentent un fort dépôt boueux, excellent milieu de culture pour tout germe nocif introduit accidentellement. Et, comme nous le verrons plus loin, la façon dont une eau peut se contaminer est réellement effrayante. Il suffit qu'un paysan marche sur la toiture, sur la terrasse d'où ruisselle l'eau qui va alimenter la citerne, en portant aux pieds des souliers encore imprégnés de matières fécales (le fait n'est pas si extraordinaire que cela dans les campagnes), pour contaminer toute son eau d'alimentation.

L'eau des sources des campagnes n'est pas non plus la plus pure. Les sources, il faut bien le retenir, ne sont que les déversoirs des nappes souterraines. De ce fait elles ne présentent pas, par elles-mêmes, de plus fortes garanties que les puits auxquels s'alimentent ces nappes.

Ajoutons que l'eau de ces sources est sujette à de très nombreuses causes de contamination dans des points très voisins de leur émergence, lorsqu'elles naissent sur le fonds même d'un cultivateur. C'est en effet à chaque instant dans les campagnes qu'il est donné d'observer des tas de fumier situés à 3 ou 4 mètres en amont des endroits d'où émergent les sources.

Or, les filets d'eau formant les sources circulent en général à une faible profondeur dans le voisinage immédiat de l'émergence et ne sont souvent protégés que par un manteau de terre épais de moins d'un mètre, manteau qui se laisse traverser avec la plus grande facilité par les eaux des fumiers ou des cours de ferme. Les exemples abondent de sources appartenant aussi à des particuliers et qui ont été la cause d'épidémies plus ou moins graves, en particulier d'épidémies de fièvre typhoïde.

M. Max Couppey de la Forest donne à ce sujet des renseignements bien instructifs (1). A Beines, petite commune de l'Yonne, voisine de Courgis, il a vu une source qui passait à 30 centimètres sous le sol d'une étable et qui causa ainsi une épidémie de fièvre typhoïde d'une dizaine de cas. A Wallan, près d'Auxerre, existait autrefois, à 3 mètres en amont de la source Naudin, un tas de fumier qui contaminait la source et qui devint historique. Ce fut en effet sur ce tas de fumier que le docteur Dionis des Carrières déversa une solution de fuchsine acide et réalisa

1. MAX LE COUPPEY DE LA FOREST : Alimentation en eau potable dans les campagnes. — Revue d'hygiène, vol. 27, 1905, p. 418.

ainsi, en 1892, la première expérience de coloration, démontrant l'origine hydrique de la fièvre typhoïde (1).

Mais à ce sujet l'exemple le plus frappant est celui relaté par M. Max Couppey de la Forest à la suite de l'enquête hydrologique qu'il fit pour la Ville de Paris de concert avec M. le docteur Henri Thierry, inspecteur général adjoint de l'assainissement de la Capitale.

« En 1893, disent les auteurs (2), dans une petite commune du département de l'Yonne de 522 habitants, du nom de Courgis, survinrent, « apportés de l'extérieur, deux premiers cas de fièvre typhoïde. Cette « commune était alimentée par des pompes placées sur différents points « situés au milieu du village ; les puits en mauvais état étaient exposés « à toutes les contaminations possibles, par suite de la présence de fumiers « très voisins. Les déjections des malades ayant été versées sur ces fumiers, il naquit quatre ou cinq nouveaux cas de fièvre typhoïde pour « lesquels on ne prit pas de précautions prophylactiques dès le début.

« Quelques semaines après, de nouveaux cas se déclarèrent. La « population s'alarma. Il était trop tard. Dans l'espace de 5 mois, sur « 522 habitants, 150 furent atteints de fièvre typhoïde plus ou moins « caractérisée et 21 décédèrent. Le reste des habitants valides affolé « s'enfuit.

« Un pareil fléau où 27 0/0 des habitants furent atteints et où la « mortalité typhique monta jusqu'à 14 0/0 du nombre des malades « et 4,02 0/0 du nombre total des habitants de la commune, jeta une « telle consternation qu'à l'heure actuelle, de nombreuses maisons de « Courgis sont encore inhabitées. »

M. Max Couppey de la Forest ajoute qu'une épidémie d'une pareille violence est tout à fait exceptionnelle, mais que des différentes enquêtes qu'il a eu l'occasion de faire, il résulte que les épidémies de fièvre typhoïde, dues sans conteste aucun à l'eau, qui fondent sur les communes rurales et atteignent 5 0/0 des habitants, sont loin d'être chose rare.

Boire l'eau d'un puits, d'une source, d'une citerne est encore un luxe pour certains paysans. Le pharmacien-major des troupes coloniales, Georges Lambert, eut l'occasion au début de la campagne, alors qu'il était en service dans une ambulance du corps colonial, de traverser

1. DIONIS DES CARRIÈRES : Étiologie de l'épidémie de fièvre typhoïde qui a éclaté à Auxerre en septembre 1882. — Bulletin et Mémoires de la Société médicale des hôpitaux de Paris (2^e série), vol. 19, 1883, p. 277.

2. MAX LE COUPPEY DE LA FOREST : Alimentation en eau potable dans les campagnes. — Revue d'hygiène, vol. 27, 1905, p. 418.

certain villages en Champagne, dont toute l'eau de boisson provenait d'infiltrations à fleur de terre, absolument troubles et infectes et dont le voisinage était parsemé de déjections humaines. Ajoutons qu'il ne manqua pas une seule fois de les purifier par son procédé au permanganate et qu'il évita ainsi pas mal de cas de dysenterie au personnel de son ambulance.

On peut citer cet exemple pour montrer combien un pharmacien peut jouer le rôle d'hygiéniste et arriver à convaincre, par le simple fait de l'expérience, les gens qui tout d'abord semblent les moins aptes à comprendre la valeur de l'hygiène et en particulier l'utilité d'épurer les eaux de boisson.

Ajoutons que dans la suite, il n'y eut plus un seul cas de dysenterie dans toute l'ambulance et que pas un seul des infirmiers n'aurait voulu boire de l'eau non épurée.

Les Beaucerons, sous ce rapport, ne sont pas plus privilégiés que les Champenois. Le docteur Boigey, médecin aide-major de l'armée, donne à ce sujet une relation qui vaut la peine d'être rapportée et qui, citée à côté de celle du pharmacien-major G. Lambert, fera bien ressortir les méfaits que peut produire l'absorption, d'une eau non épurée, par des troupes en marche.

« Au mois de mai 1904, écrit-il (1), le 22^e régiment d'artillerie quittait Versailles pour se rendre au camp de Cercottes, près d'Orléans. Les premières localités traversées étaient approvisionnées d'eau salubre et potable.

« Les jours suivants, le régiment pénétra en pleine Beauce et fut réparti, aussi bien à l'aller qu'au retour, dans les villages suivants : Angerville, Bonneville, Artenay, Prunay-le-Gillon, Orgères, Toury, Sainville, Denouville, Voves et Patay, communes ou hameaux des départements d'Eure-et-Loir et du Loiret.

« Aussi surprenant que le fait puisse paraître, dans aucune de ces localités, il ne nous a été donné d'observer, sauf peut-être à Patay, un seul échantillon d'eau présentant les caractères d'une bonne eau potable. A Angerville et à Bonneville, gens et chevaux durent se contenter de l'eau puisée dans des *mares situées au milieu des villages*.

« Nullement protégées contre l'arrivée des immondices, grossies et alimentées par l'eau des pluies qui a préalablement lavé les rues, directement souillées par les déjections du bétail qui vient y boire,

1. BOIGEY : Note sur les mares et l'approvisionnement d'eau dans la Beauce. — Revue d'hygiène, vol. 27, 1905, p. 487.

« elles répondent assez exactement à la description que Koch a donné
« autrefois des tanks hindous. A Sainville-Maison et Denouville, l'eau
« fut si rare qu'on dut rationner tout le monde.

« A l'arrivée au camp de Cercottes, de nombreux hommes du 22^e
« régiment d'artillerie présentaient des symptômes de gastro-enté-
« rite. La multiplicité des atteintes survenues en même temps ne laisse
« aucun doute sur l'origine hydrique des troubles gastro-intestinaux.
« L'infection fut massive, mais légère, aucun cas d'entérite grave ni de
« fièvre typhoïde.

« Il nous a été impossible de pratiquer l'examen bactériologique
« des mares de Beauce, mais en feuilletant les archives de certaines
« communes, nous avons retrouvé les résultats d'analyses chimiques
« ordonnées par l'autorité préfectorale à la suite d'épidémies de dysen-
« terie ou de diarrhée cholériforme et pratiquées par des pharmaciens
« de Chartres.

« Dans ces analyses, on trouve par exemple pour un litre de l'eau
« d'une mare située sur le territoire de Bonneville, 568 milligrammes de
« nitrate et 3 milligrammes d'ammoniaque. Une autre analyse se rapporte
« à l'eau des mares de Denouville et de Sainville qui contiennent 32 à
« 48 grammes d'ammoniaque et 3 kilogrammes de nitrate de chaux par
« mètre cube !

« Il y a enfin des traces importantes d'hydrogène carboné et
« sulfuré.

« L'eau mise à la disposition des chevaux, et souvent des hommes,
« était trouble et limoneuse. Elle présentait un reflet jaune et dégageait
« parfois une odeur légèrement ammoniacale. Les matières organiques
« les plus variées s'y trouvaient en suspension — débris d'étoffes, duvet,
« plumes, poils, végétaux, fragments de bois et de paille, gangues d'immon-
« dices, débris alimentaires, cadavres d'insectes variés ou même d'ani-
« maux ayant vécu quelque temps dans l'eau, poissons, batraciens,
« mollusques, etc. »

On peut dès lors penser aux dangers qu'encourt la santé publique
dans ces régions ! Il est hors de doute, ajoute le docteur Boigey, que la
santé des animaux, tout autant que celle de l'homme, est facilement
influencée par ces eaux croupissantes des mares. Ceci est à signaler,
car si la perte d'un animal, du fait de maladie, ne constitue pas à propre-
ment parler une calamité, il en résulte toujours une perte pécuniaire

préjudiciable à la bourse du propriétaire et cela serait si facile à éviter avec un peu d'hygiène (1) !

Faut-il s'étonner après cela que la mortalité soit plus élevée dans les campagnes que dans les villes ? Les statistiques le prouvent. Voici les chiffres qui résultent, à ce sujet, des calculs établis en 1902 par le ministre de l'Intérieur :

	Population.	Mortalité.	Rapport par mille habitants.
Campagne.....	23.903.191	448.900	19.7
Villes	15.058.754	335.916	19.2
Paris	2.660.559	49.070	18.4

Il est évident, dit M. Max Couppey de la Forest (2), que l'habitant des campagnes s'use plus vite que celui des villes par suite de sa dure vie. Mais il existe d'autres facteurs qui jouent un grand rôle dans cette mortalité élevée et à bon droit surprenante des campagnes. Parmi ces facteurs, il convient de citer en premier lieu *l'hygiène alimentaire et dans l'hygiène alimentaire, l'eau de boisson*. Nous pouvons toutefois supposer que ces statistiques sont faussées, parce que beaucoup de nourrissons parisiens sont envoyés à la campagne et un certain nombre y meurt. De même beaucoup de gens, après avoir travaillé toute leur vie à Paris, vont mourir à l'ombre du clocher qui les a vus naître.

Tout ce que nous venons de dire jusqu'ici a une grosse importance, non seulement pour l'alimentation en eau potable des campagnes, mais aussi pour celle des villes dont les eaux, nécessairement, proviennent de sources, de fleuves, de lacs, en contact avec des populations rurales.

Il est vrai qu'à ce point de vue, les villes peuvent aussi bien se contaminer les unes les autres, lorsqu'elles sont situées le long du cours d'un fleuve ou sur les rives d'un même lac. C'est ce que nous pourrions appeler de l'autopollution. Le fait se montre surtout à ce point de vue dans les grandes villes américaines peuplées de millions d'individus et situées le long des immenses rivières des Etats-Unis ou des énormes

1. Voir à ce sujet un intéressant article de M. SCHOUWERTH sur la relation qui existe entre le choléra des poules et l'eau de boisson. Il est toutefois regrettable de penser que les Beaucerons soient à ce sujet en retard sur les Chinois : les Chinois, en effet, ne se servent que d'eau bouillie pour tous les usages domestiques. Plus civilisés à ce point de vue que beaucoup de paysans français, ils ont depuis longtemps reconnu la mauvaise qualité de leur eau et trouvé ce moyen simple de prophylaxie.
2. MAX LE COUPPEY DE LA FOREST : Alimentation en eau potable dans les campagnes. — Revue d'hygiène, vol. 27, 1903, p. 418.

lacs canadiens. Comme l'a montré A.-J.-Mac Laughlin (1), le taux de la mortalité par la fièvre typhoïde dans ces villes, est incomparablement plus élevé que dans les villes d'Europe, environ quatre ou cinq fois plus.

Mac Laughlin conclut, et son opinion est récente puisqu'elle date de 1912, que pour ces villes « la purification des eaux d'égout est insuffisante à elle seule à empêcher la pollution des lacs et des cours d'eau » et que la purification des eaux potables s'impose comme une nécessité « impérative. »

Ainsi donc qu'il s'agisse d'humbles villages de la Beauce ou de grandes villes américaines, le résultat est partout le même : il faut épurer l'eau de boisson. Ceci n'est pas une simple hypothèse mais est confirmé par ce que l'on a constaté. C'est ainsi que la ville de Toronto située sur les bords du lac Ontario et dont la mortalité typhique était très élevée, a vu cette mortalité décroître depuis que la ville a décidé d'épurer les eaux de boisson au moyen des hypochlorites (2).

« Le docteur Houston va même plus loin, il déclare que, même « lorsqu'une eau paraît si dure à sa source qu'elle ne semble nécessiter « aucune purification, une pollution accidentelle est toujours possible « et qu'une telle eau doit être considérée comme virtuellement dangereuse (3). » Il conclut que la purification d'une telle eau est toujours nécessaire.

Il existe du reste une relation directe entre la qualité d'une eau et la mortalité typhique. Les villes européennes à faible mortalité typhique, constate le docteur Mac Laughlin, ont toutes des eaux potables saines.

La ville de Petrograd a, par contre, une eau d'alimentation polluée ; aussi est-elle la seule ville de l'Europe septentrionale ayant une mortalité par fièvre typhoïde relativement élevée (4).

Jusqu'ici nous avons insisté sur la mortalité typhique. La fièvre typhoïde est en effet la maladie classique dont on se préoccupe parce qu'elle est bien connue et son origine hydrique indiscutable. Mais il ne faut pas oublier que si le bacille d'Eberth est coupable, son proche parent le *B. coli* ne saurait être absous. Le temps n'est pas loin où la présence

1. MAC-LAUGHLIN : Fièvre typhoïde et eaux des Grands-Lacs aux États-Unis. — *Journal of American medical Association*, 19 octobre 1912.

2. Prophylaxie de la fièvre typhoïde à Toronto. — *The Surveyor*. T. 46, p. 29.

3. HOUSTON : La stérilisation des eaux d'Aberdeen. — *The Surveyor*. T. 46, 26 février 1916.

4. MAC-LAUGHLIN : Les eaux potables et la fièvre typhoïde. — *Bulletin n° 83 de l'Hygienic Laboratory-Treasury Department Public Health and Marine Hospital Service of the United States*. Mars 1912. Trad. en Français dans *Off. internat. d'hy. publique*. T. 4, 1912 p. 2019.

du *B. coli* dans une eau de boisson « sera considérée comme inadmissible (1) », mieux vaut donc éviter l'un et l'autre, en épurant son eau de boisson.

Le bacille typhique est un de ceux qui sont les plus tenaces en milieu hydrique. W. Hoffmann, en 1905, a montré qu'il vivait longtemps dans la vase des cours d'eau et dans l'eau surnageante (2), il fit à cet effet les expériences suivantes : il prenait un récipient d'eau contenant un dépôt de vase qu'il additionnait de bacilles typhiques et d'espèces banales. Il retrouva encore les bacilles typhiques après quatre semaines. Ultérieurement, il retrouva encore pendant une période de temps égale, le bacille typhique dans la vase du fond.

Malmejac va encore plus loin. Il a démontré que l'eau était un véritable milieu de culture pour les bactéries et qu'à ce sujet, les matières organiques jouent un grand rôle. Mais de plus, ces matières organiques peuvent, en dehors des bacilles, être dangereuses par elles-mêmes.

Il en conclut qu'une eau renfermant beaucoup de matières organiques est toujours suspecte et même dangereuse (3).

Il ne faudrait pas croire que la présence de matières organiques dangereuses se révèle à votre odorat. Il faut pour cela toute la subtilité de la recherche d'analyse au permanganate. Toutefois, dans certains cas, cette présence se manifeste d'une manière intense lorsque les eaux sont peuplées par certains grands organismes. Ces organismes ont leur odeur propre comme la plupart des grandes plantes, des fleurs, des animaux, et qui est provoquée par des huiles essentielles contenues à l'état de granulations dans les cellules de ces protoorganismes.

MM. D. Jackson et J.-W. Elms (4) qui les ont étudiés tout spécialement à ce point de vue en ont déterminé cinq espèces qui leur paraissent à ce point de vue caractéristiques. Ce sont :

L'*Asterionella* à odeur très forte, aromatique, rappelant celle du géranium, mais se transformant en odeur désagréable de poisson quand cette diatomée abonde.

L'*Amabæna* et le *Clathrocystis* (Cyanophycées) dégageant une odeur d'herbe moisie. Quand elles sont mortes et en décomposition, cette odeur devient infecte et rappelle celle des étables à porc.

1. HOUSTON : La stérilisation des eaux d'Aberdeen. — The Surveyor. T. 46, p. 29.

2. HOFFMANN : Recherches sur la durée de la vie des bacilles typhiques dans l'eau d'un aquarium. — Archiv. für Hyg. T. 52, 1905, p. 203.

3. MALMEJAC : Rôle hygiénique des matières organiques des eaux. — Revue scientifique (2^e série). T. 4, 12 août 1905, p. 276.

4. JACKSON ET ELMS : Sur les odeurs et les goûts des eaux de surface, surtout en ce qui concerne leur production par les amabœna. — Technology quarterly. T. 10, 1897, p. 410.

L'*Uroglana* et la *Synura* (Infusoires). Elles sentent, la première, l'huile de poisson, la seconde, le concombre mûr.

Pour obtenir les principes odorants élaborés par ces organismes en pleine vie, MM. Jackson et Elms les précipitent dans de grands réservoirs au moyen d'hydrate d'alumine, recueillent le précipité dans de la glycérine et en extraient les huiles au moyen d'hydrocarbures.

Toutefois, au point de vue de l'hygiène, les odeurs naturelles de ces organismes ne sont pas dangereuses. On s'en débarrasse d'ailleurs très bien par oxydation (et à ce point de vue, l'oxydation par le permanganate est chose excellente) et par filtration.

Il ne faudrait pas croire qu'il n'y ait que le sol capable de contaminer les eaux de boisson. L'air, ou plutôt les poussières en suspension dans l'air, peuvent en faire autant. M. L. Cavel a fait à ce sujet des expériences très curieuses (1) sur les causes d'infection que peut produire l'air ayant balayé des lits bactériens destinés à l'épuration des eaux d'égout. On sait que dans cette épuration biologique, les eaux à traiter sont émises à l'état de gouttelettes fines qui retombent en pluie sur les lits bactériens. L'auteur ayant remarqué que l'air en mouvement, passant sur un lit bactérien ainsi arrosé, se charge de microbes qui sont entraînés dans l'atmosphère, entreprit un certain nombre d'expériences consistant à exposer des boîtes de Petri, pendant quelques secondes, en aval et en amont des becs pulvérisateurs, par rapport à la direction du vent.

La numération des colonies faite cinq jours après une exposition de soixante secondes à des distances variant de 5 à 50 mètres des pulvérisateurs et sous le vent de celui-ci, donna le résultat suivant pour un centimètre cube :

Distance du lit bactérien à l'observateur	5 m.	10 m.	20 m.	50 m.
Nombre de colonies avant le lit.....	0	0	0,25	0
— — après	34	28	23	22,5

Pour une exposition de 70 secondes, dans les mêmes conditions, les résultats furent les suivants :

Distance du lit bactérien à l'observateur	5 m.	10 m.	20 m.	50 m.
Nombre de colonies obtenues avant le lit	0	0,5	0	0
— — après	39	35	30	26

Il y a donc transport certain par l'air ayant balayé la surface des lits bactériens alimentés par les pulvérisateurs, et le nombre de germes est, comme on devait s'y attendre, proportionnel à la durée d'exposition, et en raison inverse de la distance.

1. L. CAVEL : Sur l'entraînement des germes microbiens dans l'atmosphère par pulvérisation d'eau polluée. — C. R. Académie des Sciences, vol. 158, 1914, p. 296.

Un autre exemple de la contamination possible par l'air est donné par le docteur Busquet (1). Cet auteur a montré que le long des côtes, les embruns venant du large ne véhiculent en général que des espèces saprophytiques. Mais s'ils viennent à lécher une plage infectée par des eaux d'égout ou des ordures ménagères, les gouttelettes qu'ils véhiculent transportent avec elles des germes dangereux, en particulier des bacilles de la putréfaction et le *C. bacille*.

Le docteur Busquet a fait une remarque plus curieuse. Il a vu que si le vent venant du large est sec, le nombre des germes n'est pas très élevé ; mais si celui-ci provient du brisement des lames et constitue des embruns formés, comme on le sait, d'un nombre infini de gouttelettes, le nombre des germes est alors extrêmement élevé.

M. Trillat a montré que ces gouttelettes jouent un grand rôle dans la transmission des germes par l'air (2). Ces gouttelettes se forment par condensation autour de noyaux solides formés par les poussières en suspension dans l'atmosphère. Il existe dès lors des « gouttelettes microbiennes » qui se forment autour des microbes visibles, jouant le rôle de noyaux de condensation.

Mais d'après M. Trillat, ces gouttelettes doivent également se former autour des microbes invisibles, ultramicroscopiques, qui correspondent aux maladies les plus contagieuses.

N'oublions pas d'ailleurs que les microbes vivent très facilement dans l'air. M. Trillat a fait observer à ce sujet, que l'air fraîchement expiré constitue par son humidité et ses émanations gazeuses un milieu ambiant favorable à leur conservation, leur ensemencement et leur multiplication. Son rôle dans la transmission des épidémies, comme intermédiaire des germes contagieux, apparaît comme étant d'une importance énorme (3).

Or, n'oublions pas que cet air va se dissoudre dans l'eau de surface, y amenant ses germes et ses microbes. Et voilà comment, remettant en honneur la vieille théorie des miasmes, M. Trillat a montré que l'air et l'eau pouvaient véhiculer des germes morbides (4).

1. BUSQUET : Du rôle des embruns dans la transmission des maladies infectieuses. — *Annales d'hygiène publique* (4^e série), vol. 2, 1904, p. 228.
2. TRILLAT : Sur les principes d'une méthode destinée à diminuer la contagion des maladies transmissibles par l'air dans les salles de malades ou les lieux habités. — *Revue hygiène et police sanitaire*. T. 36, 1914, p. 813.
3. TRILLAT : Sur le rôle de l'air expiré dans la transmission des épidémies. — *Revue hyg. et police sanitaire*, vol. 37, 1915, p. 127.
4. TRILLAT : Influence de la composition chimique de l'air sur la vitalité des microbes. — *Bulletin Académie de Médecine* (3^e série), vol. 68, 1912, p. 249.

M. Trillat a mis en évidence que l'air vicié par les émanations putrides favorisait la vitalité des microbes; que certains gaz dissous dans l'eau exerçaient même une action conservatrice sur les microbes. Que ces ambiances empruntaient leur action favorable à l'alcalinité des gaz dilués dans l'air ou dissous dans l'eau (ammoniaque, amines grasses et substances volatiles azotées, voisines des alcaloïdes). Que toutes les circonstances altérant la pureté de l'atmosphère sont susceptibles de donner naissance à ces substances favorables : émanations provenant des décompositions organiques, gaz de la respiration, émanations du sol provoquées par les perturbations cosmiques, tremblements de terre, dépressions atmosphériques.

Ceci explique, d'après M. Trillat, les altérations hâtives de certaines matières organiques en temps d'orage (lait, bouillon, viande, gibier). Ceci explique pour nous la propagation facile des maladies par les miasmes, aux colonies et aux divers pays chauds, et la nécessité qui s'y impose plus encore que dans les pays tempérés, de faire attention non seulement à l'air que l'on respire, mais aussi à l'eau que l'on boit.



Nous avons vu dans les lignes qui précèdent combien étaient infectes les eaux que boivent encore les habitants dans certains coins trop nombreux, hélas, de notre « douce France ». Nous avons vu que dans beaucoup de villes américaines, l'eau était des plus souillées et qu'il y avait une relation directe entre l'impureté des eaux de boisson et le développement de la fièvre typhoïde. Citons encore le cas de la Belgique. Sur les 7 millions et demi d'habitants que comptait la Belgique (1), plus de 4 millions et demi étaient privés des bienfaits d'une distribution d'eau pure ; des provinces presque entières en étaient encore réduites à l'alimentation par puits domestiques, fournissant en quantité insuffisante de l'eau de qualité toujours suspecte.

Il existe un pays beaucoup plus avancé, au point de vue hygiène de l'eau de boisson, que tous les autres pays du monde : c'est la Chine. L'eau y est très impure à cause de l'habitude invétérée de la population de considérer ce liquide comme le réceptacle de tous leurs détritrus, que ce soit fleuves, rivières ou lacs. Aussi les Chinois ont-ils pris la bonne

1. Exposé des motifs d'un projet de loi instituant une Société nationale des distributions d'eau en Belgique. Projet déposé le 12 novembre 1912 à la Chambre des représentants par le Ministre de l'Intérieur de Belgique, — Off. internat. d'hyg. publique, Bulletin. T. 5, 1913, p. 81.

habitude de corriger cet état de choses en ne buvant que de l'eau bouillie. Ils ne se servent que d'eau bouillie, même pour le lavage ! D'où l'industrie florissante des marchands d'eau chaude dans ce pays.

Aussi, pour l'Européen qui habite la Chine, rien n'est plus dangereux que de boire de l'eau non bouillie ou non épurée. En été, rien n'est plus dangereux par exemple que de boire des limonades chinoises préparées pour les Européens (car les indigènes n'en boivent jamais), avec une eau quelconque ; de sorte qu'elles deviennent rapidement de véritables milieux de culture malgré leur acidité.

Les premiers cas de choléra suivis de mort chez les soldats français, lors de la petite épidémie de 1902 à Tien-Tsin, se produisirent chez plusieurs hommes qui avaient bu quelques bouteilles de limonade dans leur après-midi chez des marchands chinois. Dans la nuit ils furent pris de vomissements et de diarrhée et furent emportés dans les 24 heures.

On peut, il est vrai, objecter qu'il y a une question d'accoutumance : que les paysans, bien que décimés de temps à autre par de terribles épidémies, finissent à la longue par habituer leurs organismes à l'absorption d'eaux très impures. On peut même citer à ce sujet les anciens conquistadors des Amériques ou de l'Inde et on peut se demander comment les armées de Cortès et de Pizarre ne furent pas complètement anéanties avant d'avoir pu achever leurs merveilleuses conquêtes. Mais à cela on peut répondre que cette accoutumance, bien que réelle, ne constituait pas une mesure de protection efficace. La fièvre jaune sur le continent américain et le choléra aux Indes régnaient à l'état endémique et l'on peut supposer que la fièvre typhoïde, comme la malaria, y faisait des ravages au moins égaux.

Un fait à citer au sujet de cette question d'accoutumance est bien celle de la fièvre typhoïde. Les habitants d'une localité quelconque, à eaux infectées par le bacille d'Eberth, peuvent fort bien, dans les circonstances habituelles, vivre indemnes de cette maladie. Mais qu'un étranger venu du dehors arrive dans le pays, il contractera la maladie. Voilà pourquoi on dit que la fièvre typhoïde est la maladie des nouveaux arrivants. On pourrait en dire autant de beaucoup d'autres maladies d'origine hydrique et ces maladies ne manquent pas, comme nous le verrons plus loin.

De nos jours encore, on voit subitement éclater à bord des navires des épidémies, soit de fièvre typhoïde, soit de choléra, qui n'ont de raison d'être qu'une infection subite de l'eau des réservoirs par l'eau prélevée dans les ports de relâche et que l'on consomme au cours de traversées.

M. le docteur Tellier (1) a publié à ce sujet des lignes frappantes de vérité et que nous n'hésitons pas à reproduire, car elles mettent en évidence le fait sur lequel nous avons longuement insisté plus haut, à savoir la contamination par l'air.

« Comment, dit cet auteur, les navires, même les mieux installés, sont-ils approvisionnés d'eau potable? Au début, on embarque l'eau du pays ; ensuite, quand il s'agit de paquebots, on utilise l'eau distillée du bord.

« Mais l'eau du pays, venant de sources contaminées (rivières, fleuves, citernes), embarque avec elle le poison qu'on veut fuir. C'est ainsi que s'expliquent la plupart des décès qui se produisent pendant les traversées, alors que l'éloignement des lieux infectés devrait au contraire donner plus de sécurité. On a emporté avec soi le poison, on l'a versé à pleins bords aux passagers, à l'équipage. Comment s'étonner si les maladies et les décès surgissent? (Voir à ce sujet ce que nous rapportons, dans le chapitre Propagation hydrique des maladies contagieuses, sur une épidémie de choléra à bord de la flotte de guerre à Toulon en novembre 1911).

« Cette eau fatale s'épuise. On va la remplacer par de l'eau distillée. On met celle-ci en contact avec l'atmosphère pour l'aérer, et si l'atmosphère contient des germes morbides, si l'on navigue dans des parages où dominent le choléra, la fièvre jaune, etc., précisément par cette opération, on a ramené dans l'eau l'agent contagieux dont il fallait la préserver.

« Puis, que fait-on après? On envoie l'eau ainsi préparée dans les réservoirs préalablement infectés. Et, si l'eau a échappé à la contamination atmosphérique, parce que l'on navigue dans des latitudes saines, elle n'échappe pas à celle qui préexiste dans les réservoirs et tuyaux, puisque jamais ces appareils ne sont purifiés ni stérilisés.

« On objectera que l'eau distillée ne permet pas la multiplication des bactéries. Ceci peut être vrai pour des eaux de laboratoire, distillées dans des conditions spéciales. Mais cela n'est pas pour l'eau de mer, si chargée de matières organiques, distillée rapidement, avec entraînement de particules liquides et rechargée de matières organiques par le contact de l'atmosphère.

1. TELLIER : Du transport des épidémies par l'eau. — Revue médicale 1894, p. 153.

CHAPITRE II

Maladies d'origine microbienne transmises par les eaux

Nous avons évoqué dans les lignes qui précèdent le nom de quelques maladies que peut provoquer chez l'homme l'absorption d'eau de boisson porteuse de germes nocifs. Nous allons maintenant démontrer qu'il ne s'agit pas là de simples vues de l'esprit, que ces maladies sont bien réelles et sont même beaucoup plus nombreuses qu'on ne le croit vulgairement.

1^o *Fièvre typhoïde.*

On sait que cette terrible maladie intestinale est causée par le bacille d'Eberth. Il est préférable de généraliser et de dire qu'elle est produite par le bacille du côlon (*b. coli*), cet inoffensif bacille que l'on rencontre à peu près partout, dans toutes les eaux de boisson, ayant acquis, sous des causes qui nous sont encore inconnues une virulence exaltée, une morphologie et des propriétés biologiques spéciales. Telle est la théorie de l'Ecole de Lyon et c'est celle à laquelle nous faisons crédit.

Ce bacille est abondamment répandu dans les déjections et les urines des malades atteints de fièvre typhoïde. Ceux-ci, même après guérison de leur maladie, continuent toujours à éliminer de nombreux bacilles et continuent, par suite, d'être contagieux bien qu'immunisés par leur infection même.

On le trouve également très répandu dans les déjections et les urines de personnes parfaitement saines et n'ayant jamais eu la fièvre typhoïde, qui l'hébergent comme un hôte habituel (1), mais qui n'en sont pas moins dangereuses pour leur entourage.

On peut donc dire d'une manière générale que toute matière fécale est dangereuse et que toute eau ayant eu le moindre contact avec de la matière fécale, par infiltration dans le sol, contact direct, transport à distance, est dangereuse et peut déterminer chez celui qui l'absorbe, la terrible maladie.

Le docteur Clément, de Lyon, a montré dans une étude très complète, avec diagrammes et statistiques à l'appui (2), que le bacille d'Eberth,

1. P. CARNOT ET WEILL-HALLE : De la dissémination du bacille typhique autour des malades atteints de fièvre typhoïde. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences. T. 160, 1915, p. 352.

2. CLÉMENT : Rapports de la fièvre typhoïde à Lyon avec les oscillations de la nappe souterraine. — Lyon-Médical, 1902, p. 553 et 594.

vivant surtout dans la vase et les dépôts de nappes souterraines, c'est au moment où la nappe a le moins de hauteur que l'on enregistre les années à forte mortalité typhique.

Le docteur H. Labit a montré qu'il existait une relation étroite entre la présence du colibacille en quantité notable dans l'eau de boisson et les recrudescences de l'endémo-épidémie typhique (1).

A. Gaertner, d'Iéna, dans un ouvrage intitulé *Les sources dans leur rapport avec l'eau souterraine et avec la fièvre typhoïde* (2), a aussi étudié des épidémies de fièvre typhoïde qui ont éclaté en Allemagne, en Belgique, en Suisse, en France. Dans la plupart des cas, il a constaté l'origine hydrique de la maladie et la souillure de l'eau de boisson.

Il y a toujours des exceptions, comme à Lille par exemple, où l'eau de boisson, très souillée, contenait presque toujours des quantités formidables de colibacilles. Les chiffres de 1.000, 2.000 et jusqu'à 10.000 et plus colibacilles par litre, sont loin d'être exceptionnels ; et cependant, cette ville ne payait pas une mortalité plus élevée que les autres à la fièvre typhoïde. Mais jusqu'à présent on n'a trouvé aucune raison de ce fait en apparence paradoxal. Peut-être les Lillois ne buvaient point d'eau.

Certainement le nombre de décès par cette maladie est encore plus grand que celui donné par les statistiques, car les décès signalés sous la rubrique entérite et diarrhée, sont très nombreux dans certaines villes. Or, le professeur Carlo Santi (3) a montré que ces constatations, pour Modène par exemple, *avaient certainement une corrélation avec la qualité des eaux de boisson*, étant donné que la population s'alimente surtout d'eau de puits en grande partie découverts, situés dans des cours étroites et malpropres et contenant un grand nombre de bacilles typhiques.

Nous allons citer deux exemples typiques pour montrer le rôle joué par les matières fécales venues au contact de l'eau pour l'éclosion de cette maladie.

Le premier date de 1912 et est emprunté à de Blasi (4). Le voici : une épidémie de fièvre typhoïde éclate soudainement à Albano (Italie),

1. LABIT : Le colibacille dans l'eau de boisson et la fièvre typhoïde. — Revue d'hygiène et de police sanitaire. T. 39, 1912, p. 561.
2. A. GAERTNER. Les sources dans leurs rapports avec l'eau souterraine et avec la fièvre typhoïde. Iéna-Fischer, 1902, 1 volume in-8.
3. CARLO-SANTI : Recherches sur la présence des bacilles typhiques, paratyphiques et du groupe coli dans les eaux de boisson de Modène. — Annali di Igiene Sperimentale. Vol. 24, 1913, p. 4.
4. DE BLASI : Une épidémie de fièvre typhoïde d'origine hydrique. — Annali di Igiene Sperimentale. T. 22, 1912, p. 397.

dans les derniers jours du mois de mars. De Blasi appelé par la municipalité commence ses recherches dès le 6 avril.

Il constate que l'épidémie a présenté un caractère « explosif » et qu'un grand nombre de personnes ont été atteintes simultanément. Il apprend également que le hameau de Crocefino présente plusieurs cas confirmés en même temps que ceux d'Albano et qu'une épidémie identique a également éclaté à la même époque, dans la partie basse de la ville de Genzano.

De Blasi remarque que la distribution de ces cas correspond en tous points à la distribution d'une conduite d'eau potable provenant d'une source appelée le Facciate.



Les villages voisins alimentés par d'autres sources sont restés indemnes. Or, chose remarquable, les habitants du village de Nemi, plus près de la source n'ont pas été touchés par le fléau, si ce n'est une dizaine de personnes qui avaient l'habitude d'aller chaque jour à Genzano pour leur travail et y avaient par suite bu de l'eau de cette localité.

De Blasi découvre bientôt que dans la partie basse de la ville de Genzano, la conduite d'eau passe sous un égout couvert. Il pratique alors une excavation autour du tuyau et de l'égout et voit qu'en cet endroit, le tuyau métallique de la conduite d'eau présente un joint, juste deux centimètres sous l'égout. La soudure est visible, mais on ne peut toutefois constater aucune filtration d'eau, bien que la pression fût en ce point d'une atmosphère et demie. Or, plusieurs cas de fièvre typhoïde avaient été constatés dans les maisons voisines desservies par l'égout et celui-ci était si peu imperméable, que tout le terrain environnant était imprégné des liquides qu'il contenait.

De Blasi fait alors faire un petit puits en ciment autour du joint et le remplit d'une solution d'éosine très concentrée ; dix minutes plus tard, il fait interrompre le passage de l'eau dans le tuyau, pour le rétablir encore après dix minutes, afin de favoriser « par succion » le passage de la matière colorante à travers le joint suspect.

L'eau prise à la fontaine apparaît quelques instants plus tard colorée en rose. Avec un faible éclairage: on y distingue nettement la fluorescence particulière aux solutions faibles d'éosine.

Ainsi était déterminée d'une manière élégante la preuve irrécusable que le joint situé sous l'égout au milieu des terrains imbibés d'eaux résiduelles en provenant, avait subi une corrosion peut-être minime, mais suffisante cependant pour permettre le passage des bacilles typhiques. Les arrêts momentanés du passage de l'eau dans la conduite avaient pu provoquer la « succion » nécessaire pour attirer le liquide extérieur,

L'observation de cette épidémie de fièvre typhoïde est particulièrement intéressante, à notre avis, parce qu'il s'agit d'un de ces cas assez rarement enregistrés dans lesquels l'origine hydrique de la contamination a pu être démontrée, non seulement par des conditions d'ordre chronologique et topographique, mais aussi directement par la découverte des conditions qui ont rendu effective la pollution de l'eau incriminés.

Le cas d'Albano doit, hélas ! se reproduire dans bon nombre de nos villes modernes où se croisent en tous sens, sous les chaussées et dans les maisons, conduites d'eau, conduites de gaz, canalisations électriques et tuyaux d'égouts, sans compter l'ébranlement produit à toutes ces canalisations et par suite, la production inévitable de fissures par les réparations continuelles qui sont faites dans les chaussées et les maisons.

Le second exemple se rapporte à la vie de campagne. Il fut cité par Wheaton (1) et eut lieu dans des fermes de Staffordshire et du Worcestershire en 1909.

Dans les fermes Moor-Farm (20 cas), Pigeon House et Great House Farm (10 cas) éclatèrent, le 1^{er} octobre et le 16 novembre, des cas de fièvre typhoïde parmi les cueilleurs de houblon qui y étaient employés. On constata qu'à la ferme de Moor, les malades habitaient un vieux bâtiment en briques, à proximité des cabinets d'aisance situés dans une cour marécageuse. Des parcelles de matières fécales étaient dès lors

1. WHEATON : Rapport au Local Government Board sur la fièvre typhoïde parmi les cueilleurs de houblon de Staffordshire et de Worcestershire en 1909. — Nouvelle série n° 30. Londres, 1910.

entraînées par les souliers des habitants dans la cour et de là dans l'eau de la pompe d'alimentation qui s'y trouvait située. Et de fait, l'analyse de l'eau de la pompe mit en évidence des bacilles d'Eberth.

Il en était de même aux autres fermes.

Nous ne multiplierons pas les exemples. Ils sont suffisants avec celui de la ville de Courgis cité dans notre chapitre premier, pour montrer combien l'on doit se méfier de l'origine hydrique de la fièvre typhoïde.

2^e Choléra.

C'est surtout en ces dernières années que le rôle de l'eau a été mis en évidence pour la transmission du bacille virgule, agent vecteur du choléra.

Aussi en 1905, en Allemagne, on a trouvé, durant l'épidémie, des vibrions cholériques dans les eaux de la Sprée et de l'Elbe. A Rotterdam, en 1907, on incrimina l'eau de la Meuse ; à Pétrograd, pendant les épidémies de 1908, 1909, 1910, le choléra se propageait surtout par la voie hydrique. Or, chose à noter, l'eau de la Néva n'était pas contaminée en amont de Pétrograd, et dans les diverses parties de la ville, le quantité de vibrions cholériques que l'eau renfermait se trouvait toujours en rapport direct avec la quantité d'eau d'égout qui s'y trouvait déversée. Dans l'eau potable prélevée aux robinets des maisons dans lesquelles s'étaient produits des cas de choléra, on trouva 6,28 de vibrions quand il s'agissait d'eau filtrée et 16,98 quand celle-ci ne l'était pas.

La survie du bacille virgule dans l'eau est variable. Wolhfugel et Riedel l'ont vu disparaître de l'eau potable de Berlin quelquefois après 2 jours, quelquefois après 7 mois seulement. Hochstetter l'a vu survivre dans la même eau pendant 392 jours (c'est la limite maximum remarquée jusqu'à aujourd'hui). A Paris, Strauss et Dubarry ont trouvé une survie du vibron de 30 jours dans l'eau de l'Ourcq et de 39 jours dans celle de la Vanne. Hueppe arriva aux mêmes résultats pour l'eau de Berlin ; Furbinger et Stiegel le trouvent encore vivant après 106 jours. Zirolia, en examinant l'eau potable des bateaux qui traversent le canal de Suez l'a trouvé dans l'eau d'un bateau qui avait quitté 3 mois et demi auparavant Calcutta où sévissait le choléra.

D'autres eaux courantes (Jumna, Gange) ont au contraire un pouvoir bactéricide vis-à-vis du choléra. Hankin en expérimentant aux Indes sur les eaux de la Jumna et du Gange, a vu que le vibron disparaîs-

sait en 3 heures, tandis que dans l'eau d'un puits situé à proximité du fleuve, il vivait et pullulait facilement (1).

Nous croyons inutile de multiplier ces exemples qui suffisent à montrer que, malgré la discordance des résultats, le vibron peut vivre dans l'eau, et dans certaines eaux, pendant longtemps. Cette persistance explique la réapparition plus ou moins lointaine, sous l'influence de causes mécaniques, du vibron dans les eaux de la surface.

Elle explique la reviviscence à des échéances plus ou moins longues, en dehors de toute importation, d'un choléra qui paraissait éteint (cas d'origine autochtone) (1). C'est ainsi qu'on a signalé sa persistance dans le limon du Volga à Astrakhan, ainsi qu'à Toulon, dans les rivières de Dardennes, Neuve et du Las.

D'après Calmette, l'eau des fosses septiques, filtrée au travers d'une bougie Chamberland, tue le vibron du choléra. Il attribue donc le pouvoir bactéricide de ces eaux, aussi bien que celui des eaux de la Jumna et du Gange, à la présence de certaines diastases contenues dans ces eaux. En effet, ces eaux stérilisées par filtration ou chauffées en vase clos, gardent leur pouvoir bactéricide, tandis qu'elles le perdent complètement lorsqu'elles sont stérilisées à la manière ordinaire à 115°. Ces diastases, d'après Calmette, proviendraient de décompositions microbiennes des matières organiques qu'elles contiennent.

L'eau est donc l'agent transmetteur du choléra par les bacilles virgules qu'elle contient. Le fait est bien démontré, et ce serait chose inutile que de rapporter ici les relations publiées au sujet de toutes les grandes épidémies de choléra qui ont en particulier ravagé l'Europe.

Nous allons simplement citer un cas rapporté par Defressine (2) et Cazeneuve, qui a toute la valeur d'une expérience à ce sujet.

Une épidémie de choléra éclate brusquement à Toulon en 1911 sur plusieurs bâtiments de la flotte, isolés les uns des autres, les uns en rade, les autres aux salines d'Hyères.

On analyse les eaux, et l'on trouve le vibron cholérique. Or, chose remarquable, tous les bâtiments contaminés se sont approvisionnés d'eau à Toulon et d'eau contaminée le même jour. Les autres bâtiments qui ont pris de l'eau pure sont indemnes de toute épidémie.

Il n'y a pas que le bacille virgule qui puisse donner le choléra. Il existe dans les eaux du fleuve Sénégal un coccobacille isolé par Thiroux et qui

1. DEFRESSINE ET CAZENEUVE : Persistance du vibron cholérique dans les cours d'eau. — Comptes rendus hebdomadaires des Séances de la Société de Biologie. T. 73, 1912, p. 89.

2. DEFRESSINE ET CAZENEUVE : Epidémie cholérique dans la marine à Toulon. — Archives de médecine et de pharmacie navales. T. 98, nos 8 et 9, 1912, p. 101 et 194.

produit une maladie à allures de choléra connu sous le nom de choléra du Sénégal ou N'Diank.

Le N'Diank a été décrit en 1866. Il débute par des douleurs intestinales et des évacuations de matières fécales et de bile qui se changent très vite en diarrhée séromuqueuse semblable à une décoction de riz avec ou sans grumeaux. La fréquence des selles est extrême ; puis viennent des vomissements, des crampes violentes, mais pas d'algidité ni de cyanose. Les divers phénomènes durent une dizaine d'heures, après lesquelles le malade s'endort puis se réveille avec une grande faiblesse et guérit en 2 ou 3 jours. Les cas mortels sont extrêmement rares.

Thiroux a pu isoler des selles des malades un vibrion en forme de coccobacille, se cultivant facilement en eau peptonée, ne donnant presque pas de réaction à l'indol et absolument inoffensif pour le cobaye.

Thiroux observe en 1911 et 1912 que les cas de N'Diank se produisaient toujours à la même époque de l'année. Cette époque coïncide avec le moment où les eaux du fleuve Sénégal deviennent douces par suite de la crue consécutive à la saison des pluies. En dehors de cette saison, les eaux du Sénégal, dont le débit est insuffisant en saison sèche pour refouler les eaux de la mer qui envahissent son estuaire, sont salées jusqu'à 200 kilomètres en amont de Saint-Louis.

Or, le coccobacille vit normalement dans l'eau du fleuve Sénégal, que cette eau soit douce ou salée. Tant que l'eau est salée, les indigènes n'en boivent pas, mais qu'elle devienne douce, ils n'hésitent pas à en absorber, d'où l'apparition de cas de N'Diank.

A.-T. Salimbeni a étudié le vibrion isolé par Thiroux. Il fait ressortir qu'on pourrait être très embarrassé pour reconnaître la nature microbienne de ces germes, car ils n'affectent pas la forme d'éléments recourbés à laquelle on est habitué. Mais il est par contre facile de faire cette constatation par l'examen à l'état frais, et surtout à l'ultra-microscope, qui permet de constater le mouvement en vrille de cette espèce.

Salimbeni en conclut que lorsque la spécificité des germes de Thiroux sera bien établie, la preuve sera faite que des vibrions très éloignés du type classique de Kock peuvent produire une maladie à allure épidémique qui, dans son ensemble symptomatique, ressemble tellement au choléra asiatique, qu'elle a mérité le nom de choléra du Sénégal (1).

1. THIROUX. — Le N'Diank, choléra du Sénégal ; son agent pathogène. — Bulletin de la Société de pathologie exotique. T. 5, 1912, p. 753.

Nous avons jusqu'ici parlé du choléra exotique. Nous ne ferons que citer le choléra nostras auquel il faut rattacher toute une série d'affections intestinales, diarrhées, choléra infantile, entérites dysentériques, affections dues au colibacille, et qui paraissent se rapprocher plutôt de la fièvre typhoïde déjà étudiée.

Bien que le colibacille habite normalement l'intestin, il peut en certaines circonstances, et en particulier sous l'influence d'association avec d'autres colibacilles absorbés en même temps que l'eau de boisson, acquérir une virulence exaltée et être alors la cause d'affections à allures graves.

Ces maladies sont naturellement des maladies de la période estivale, lorsque l'eau de la nappe souterraine est basse et par suite contaminée par les dépôts vaseux du fond.

3^o Dysenterie.

Nous confondrons ici les deux dysenteries, bacillaire et amibienne, car ce qui nous intéresse, ce n'est pas la nature du germe qui produit la maladie, mais bien le moyen de s'en préserver. Cette maladie est due bien souvent à la mauvaise qualité de l'eau de boisson.

Hippocrate et les anciens l'avaient remarqué, ils accusaient surtout de ce méfait l'eau souillée de matières végétales.

En 1870, les soldats d'un régiment stationné à Metz souffraient beaucoup de dysenterie, surtout si l'on considérait le reste de la garnison ; on soupçonna que l'origine de la maladie venait de puits souillés par des infiltrations de latrines voisines. On ferma ces puits, et l'épidémie s'éteignit. En 1881, les mêmes puits furent rouverts, la dysenterie reparut parmi les soldats faisant usage de leur eau ; on les ferma de nouveau, et l'épidémie s'arrêta.

En février 1813, une épidémie de dysenterie atteignit l'équipage de la corvette française *La Créole*, ancrée près d'Oran ; les trois cinquièmes de l'équipage furent atteints, et il y eut 13 décès dont 8 avec abcès au foie.

L'épidémie avait été causée par l'emploi de l'eau d'une rivière recevant les résidus d'une ville voisine. Aucun des bâtiments voisins de *La Créole* ne fut attaqué par la dysenterie. On y buvait de l'eau venue de France (1).

En France, plusieurs épidémies observées à Toulon, ou en Bretagne, ont pu être attribuées à l'usage d'une eau potable de mauvaise qualité.

1. Les maladies nées de l'eau (on water diseases). — British med. Journal. T. 1, 1894, p. 589.

C'est également l'opinion de Pfuhl, qui a montré que le bacille de la dysenterie pouvait persister assez longtemps dans l'eau (1).

En Cochinchine, le docteur Denier, sous-directeur de l'Institut Pasteur de Saïgon, a montré après une série de recherches entreprises du 28 mai au 31 octobre 1913 que la dysenterie (bacillaire) présente son maximum d'intensité au début de la saison des pluies. A cette époque, les premières averses ramènent à la surface du sol toutes les nuisances qui ont été déposées pendant les six mois de la saison sèche. Toutes ces contaminations sont entraînées dans la nappe souterraine qui, sans épuration préalable, assure en partie l'alimentation de Saïgon (2).

Toutefois, Calmette assure que la dysenterie a bien diminué à Saïgon depuis l'emploi de l'épuration de l'eau à domicile par les filtres Chamberland.

D'après le docteur Heiser, directeur de la Santé aux Philippines, la dysenterie (amibienne) demeure au premier rang des maladies qui ravagent l'Européen dans ces îles, et elle y cause autant de mortalité que toutes les autres affections tropicales réunies. Toutefois, ajoute-t-il, la maladie est presque inconnue dans les classes qui boivent de l'eau bouillie (3).

4^o *Paludisme.*

Les lignes qui vont suivre vont paraître étranges aux savants qui ne voient que le moustique comme agent de transmission du paludisme et n'attribuent aucun rôle à l'eau de boisson comme véhicule de cette maladie. Aussi n'allons-nous pas hésiter à multiplier les exemples pour ceux qui demandent des arguments frappants pour être convaincus.

Cette théorie n'est pas nouvelle. Déjà Hippocrate et Rhazès admettaient que les eaux marécageuses employées à la boisson pouvaient produire la tuméfaction de la rate et les fièvres intermittentes rebelles. Hippocrate parlant des hommes qui boivent des eaux marécageuses écrivait : « Ceux qui en font usage ont toujours la rate volumineuse et dure (4). »

En 1854, Pereyra de Bordeaux publiait les lignes suivantes : « Les

1. JOB : La dysenterie bacillaire dans les collectivités. — Revue d'hygiène. T. 27, 1905, p. 1072.
2. DENIER : La dysenterie à Saïgon. — Archives de médecine et de pharmacie navales. T. 102, 1914, p. 120.
3. HEISER : Rapport annuel du Bureau d'hygiène des Iles Philippines. — Juillet 1908, juin 1909, Manille 1909.
4. HIPPOCRATE : Œuvres complètes. — Traduction de Littré. T. 2, p. 27.

habitants des Landes bordelaises et de plusieurs points du département de la Gironde boivent de l'eau marécageuse ; or, ceux qui filtrent cette eau sur des filtres en charbon, ne contractent pas la fièvre palustre qui sévit au contraire avec intensité sur ceux qui ne prennent pas cette précaution (1). »

En 1869, Bettington et Moore observèrent aux Indes des faits qui témoignent dans le même sens. Dans un tel village, la fièvre, écrivent-ils, a disparu depuis qu'on a creusé un puits et qu'on ne fait plus usage de l'eau des marais ; dans tel autre, les habitants qui ne boivent que de l'eau de source sont épargnés presque complètement, tandis que ceux qui boivent de l'eau stagnante sont très éprouvés par les fièvres. Blower a relevé pour certaines communes d'Angleterre des faits analogues (2).

Parkes (3) et de Chaumont (4) insistent sur ce fait en 1869 et 1879, qu'en Angleterre, les fièvres palustres ont disparu dans beaucoup de localités à partir du moment où les habitants ont pu se procurer de l'eau de bonne qualité et n'ont pas été contraints pour leur boisson à faire usage d'eaux stagnantes, marécageuses.

C'était, dit Laveran (5), de l'eau ayant cette origine qu'on buvait tout récemment encore à Sheerness, à l'embouchure de Medway, où la fièvre intermittente était si fréquente.

En l'année 1874, le docteur Charles Blanc qui avait parcouru des régions très insalubres en Abyssinie, insiste beaucoup sur la nécessité impérieuse de ne boire que de l'eau saine. Un officier anglais qui ne but comme Charles Blanc, que de l'eau bouillie ou filtrée avec soin, fut préservé comme lui, tandis que toutes les autres personnes faisant partie de la même mission, furent atteintes de fièvre ou de dysenterie (6).

Le docteur R. Waggener a cité plusieurs faits intéressants à l'appui de l'origine hydrique du paludisme. Il cite en particulier les villages de Warrington et de Wolsey (Philadelphie), autrefois très salubres alors que la population faisait usage d'eau de source, et qui sont devenus

1. FÉLIX JACQUOT : De l'origine miasmatique des fièvres endémo-épidémiques. — Annales d'hygiène (2^e série). T. 2, p. 33 et 244.
2. PARKES : Traité d'hygiène (3^e édition). — Londres, 1769 ; Vallin ; Article Marais. — Dictionnaire encyclopédique des Sciences médicales. T. 56, p. 634.
3. PARKES : Traité d'hygiène (3^e édition). — Londres, 1869.
4. DE CHAUMONT : Sur la transmission de la fièvre palustre par les eaux potables. — Revue d'hygiène. T. 1, 1879, p. 102.
5. LAVERAN : Comment prend-on le paludisme. — Revue d'hygiène. T. 18, décembre 1796, p. 1049.
6. CH. BLANC : Notes médicales recueillies pendant un voyage en Abyssinie. — Gazette hebdomadaire de médecine et de chirurgie (2^e série). T. 11, 1874, p. 429.

des foyers de paludisme depuis qu'on y fait usage d'eau de puits peu profonds (1).

Le docteur Chaillé, professeur à Tulane University (Louisiane), a signalé que les personnes qui faisaient usage de l'eau de puits étaient atteintes de fièvre intermittente, tandis que celles qui buvaient de l'eau de citerne en étaient indemnes. Le même fait fut constaté par Waggener sur des soldats en garnison à Pensacola (Philadelphie).

Le docteur Richard H. Lewis, de la Caroline du Nord, a observé deux familles vivant porte à porte et buvant l'une de l'eau d'un puits peu profond, l'autre de l'eau de pluie conservée dans des baquets de bois ; les membres de la première de ces familles étaient constamment atteints de fièvre, alors que tous les membres de la deuxième en étaient indemnes.

Pendant plusieurs années W.-H. Daly fut atteint de fièvre chaque fois qu'il allait chasser dans les marais de Kankakee (Indiana) ; ses compagnons de chasse étaient également très éprouvés. Daly résolut de ne plus boire l'eau des marais et il réussit, ainsi que ses amis, à se préserver des fièvres (2).

Le *Medical Record* du 28 janvier 1893 cite le cas d'une famille composée de six personnes, dont cinq souffraient continuellement de la fièvre ; l'installation d'un filtre Pasteur fit disparaître la maladie.

Le personnel d'une propriété située dans la Camargue est très éprouvé par les fièvres ; à la suite d'une épizootie qui règne sur les chevaux, on se résout à faire bouillir l'eau de boisson ; dès lors, les fièvres deviennent très rares.

Deux propriétés sises en Camargue sont éloignées de quatre kilomètres environ ; dans l'une, des vendangeurs boivent de l'eau filtrée et il n'y a pas de fièvre ; dans l'autre, on fait usage d'eau de puits ou d'eau provenant des robinets ; sur 300 ouvriers, 40 seulement au bout d'une semaine sont indemnes de fièvre.

Salomone-Marino (3) fait ingérer à 25 individus qui se trouvaient en Italie dans une localité salubre, de l'eau puisée dans des localités palustres. Chez les individus sains et robustes, cette ingestion ne provoqua que quelques nausées, chez les individus plus délicats, on observa des troubles gastro-intestinaux ; les individus atteints de maladies chro-

1. WAGGENER : De l'eau de boisson comme cause de paludisme. — New-Orleans med. and surg. Journal, 1891-1892 (nouv. série).

2. DALY : New-York medical. — T. 19, p. 892. — Record, 15 sept. 1894. T. 46, 1894, p. 327.

3. SALOMONE-MARINO : Riforma medica. T. 6, 1890, p. 1502, et Sicilia Medica. T. 3, 1891, p. 100.

niques eurent de la fièvre qui disparut avec la cessation de l'eau suspecte ; enfin, chose excessivement remarquable, chez ceux qui avaient eu antérieurement de la fièvre, on observa des rechutes et on vit des hématozoaires reparaître dans le sang.

Tous ces faits semblent bien indiquer que le paludisme ne doit pas être attribué à la seule piqûre des anophèles et que l'eau de boisson doit certainement, dans certains cas, jouer un rôle aussi important. Cela n'a rien d'étonnant d'ailleurs, puisque le moustique porteur de germes de paludisme vit à la surface des mares et des ruisseaux, que la femelle vient y déposer ses œufs et qu'elle y plonge constamment sa trompe encore toute imprégnée de sang paludéen et de germes d'hématozoaires.

Comment d'ailleurs prétendre qu'aucun de ces germes ne tombe dans l'eau ou que, s'ils s'y répandent, ils puissent rester inoffensifs pour l'estomac de l'homme dans lequel ils pénètrent avec l'eau de boisson.

Dans son traité de pathologie exotique, Le Dantec arrive d'ailleurs à cette conclusion (1) que la pénétration des germes du paludisme se fait de deux façons : 1^o par piqûre, les femelles salivant dans leurs piqûres les germes de la maladie ; 2^o par ingestion, les œufs et les larves de moustiques étant ingérés en même temps que l'eau potable et l'hématozoaire passant alors du tube digestif dans le sang de l'homme.

D'ailleurs, d'après Metchnikoff, dont l'opinion est généralement admise, l'hématozoaire appartient au groupe des coccidies ; or les coccidies sont des animaux parasites pendant une partie de leur évolution et dont le développement s'achève dans un milieu différent. Les recherches de Simond l'ont conduit ainsi à admettre que la coccidie (hématozoaire) de Laveran devait avoir : 1^o une vie parasitaire qui nous est connue et qu'il appelle le cycle asporulé ; 2^o une vie saprophyte ou cycle sporulé pendant laquelle le protozoaire s'entourerait d'une membrane kystique et formerait des spores à son intérieur. Cette dernière phase a échappé jusqu'à ce jour à nos investigations. Les spores sont-elles disséminées dans l'eau que nous buvons ? Vont-elles se répandre dans le sol (ce qui expliquerait la nocivité de certains terrains qui remués, donnent la fièvre, alors que d'autres jouissent à ce sujet de la plus parfaite innocuité) ? La question est encore à résoudre (2).

Cette théorie de la transmission hydrique du paludisme permet

1. LE DANTEC : Traité de pathologie exotique. — DOIN, éditeur, 1911, 2 vol. in-16. — Collection TESTUT.

2. LE RAY : Du rôle de la végétation dans l'évolution du paludisme. Paris, 1903. — MALOINE, éditeur.

d'expliquer comment il se fait (et nous en verrons des exemples dans les lignes qui vont suivre) que le paludisme éclate surtout dans certaines régions après tous les orages, les typhons, les fortes pluies. Il est certain en effet que si une forme quelconque de l'hématozoaire existe dans le sol, elle existe aussi forcément dans l'eau.

Dès lors, les pluies abondantes doivent avoir pour effet de la faire pénétrer dans tous les interstices, toutes les crevasses, puis rejoindre de là l'eau des fleuves et des mers avec la nappe d'eau souterraine et les puits qui en dépendent.

Voilà pourquoi toutes les fois que l'on veut assécher les marais et qu'on remue leur vase, on en fait sortir la fièvre. L'exemple de l'assèchement des marais de la Chartreuse qui fit périr de paludisme des milliers d'habitants à Bordeaux en est le plus bel exemple (1).

Nous ne saurions d'ailleurs mieux faire que de montrer maintenant par des exemples combien le moustique n'est pas le seul agent vecteur du paludisme. Nous allons emprunter ces exemples à un article du docteur Ch. S. Braddock publié en mai 1914, pour bien montrer le rôle de l'eau (2).

Dans les collines situées au pied de l'Himalaya, dit cet auteur, existent des régions où la température tombe en saison froide à 34° Fahrenheit. A ce moment il n'y a plus de moustiques, tous étant tués par le froid, et cependant c'est à ce moment-là où il règne le paludisme le plus terrible. Qu'à cette époque arrive dans ces contrées un individu absolument indemne, ne possédant pas le moindre hématozoaire dans son sang, le malheureux ne tardera pas à être atteint en quelques jours de la forme la plus maligne du paludisme et à succomber. Or, où peut-on accuser le moustique dans ce cas, puisqu'il n'existe pas !

Mais poursuivons notre auteur. Il y eut à Maurice, dit-il, en 1868 et 1869, une terrible épidémie de paludisme à la suite d'un formidable typhon, qui fit de nombreuses victimes. Les gens durent vivre en plein air après avoir eu toutes leurs maisons, tous leurs abris détruits, et bon gré, mal gré, durent absorber l'eau de ruissellement des pluies torrentielles qui inondèrent l'île.

Ce fait est à rapprocher de ce qui se passa à Cuba pour les régiments américains qui faisaient le siège de Santiago. Ces régiments dormaient sur le sol, buvaient de l'eau stagnante des tranchées et étaient exposés

1. DIEULAFOY : Traité de pathologie interne.

2. BRADDOCK : La malaria tropicale et ses causes. — New-York Medical Journal, 16 mai 1914.

à des pluies diluviennes, absolument comme les habitants de Maurice, ils eurent 100 pour 100 d'impaludés. Or, à quelques mille de là, les soldats américains du camp de Mac Calla n'eurent que 2 pour 100 d'impaludés. Pourquoi? Parce qu'ils étaient abrités de la pluie et buvaient de l'eau distillée et cependant il y avait autant d'anophèles au camp de Mac Calla que devant Santiago, et ces soldats étaient tout aussi bien piqués par ces insectes dans l'un et l'autre cas.

Autre fait encore, toujours du même auteur. La ville de Wharton (New-Jersey) était autrefois très palustre ; comme c'est une ville d'un district minier, il arriva qu'à la suite de leurs extractions, les mineurs creusèrent une galerie longitudinale qui mit tous les puits à sec. Les habitants de la ville furent forcés, de ce fait, de boire de l'eau de pluie, c'est-à-dire de l'eau non souillée par le sol, et le paludisme cessa de ce jour de ravager la ville.

De même à Port-Swettenham, sur le détroit de Malacca, les coolies qui construisaient le chemin de fer mouraient de paludisme, aussi, tous les soirs, était-on obligé, pour éviter cette maladie, de les emmener par les trains à Klang, à quelques mille au delà sur les hauteurs ; mais peu à peu la jungle autour de Port-Swettenham fut coupée à une grande distance, les marais furent asséchés et aujourd'hui, il existe un paisible village dans cette horrible jungle d'autrefois ; il y a tout autant de moustiques qu'avant, mais les habitants boivent de l'eau de pluie, et dès lors, le paludisme a été jugulé.

C'est exactement pour cette raison, dit l'auteur, que la fièvre palustre est relativement bénigne et que des cas sont rares dans les villes de Bangkok et de Singapore. Il y a là du soleil et non pas l'humidité des forêts et les gens y boivent de l'eau de pluie. Or, à quelques milles de là, dans la jungle, règne la fièvre pernicieuse.

Et cependant ce ne sont pas les moustiques qui manquent à Bangkok et à Singapore. Il y en a des masses et de toutes les variétés !

Autre fait encore. Dans ces temps derniers, on a creusé de profonds puits ou même des puits artésiens dans les horribles contrées marécageuses de Virginie, et le paludisme a aussitôt diminué parmi les habitants qui n'en ont plus été réduits à boire l'eau stagnante des mares. De même, dans le Mississipi, le forage de puits artésiens a, pour la même cause, diminué le nombre des cas de paludisme.

Il faut encore citer la ville de Zanzibar. Il y a beaucoup de moustiques dans cette ville ; mais les habitants y boivent de l'eau bouillie ou distillée et ils n'ont pas de fièvre. Mais il suffit qu'ils sortent de la ville,

qu'ils dorment dans la jungle pour qu'ils contractent aussitôt des accès de paludisme.

Les indigènes ont depuis longtemps observé ces faits, et sont à ce point de vue plus instruits que beaucoup de savants européens ou de paysans de la Beauce. C'est ainsi que les coolies de Laos ou de Karem (au nord du Siam) connaissent bien l'utilité d'avoir de l'eau pure. Lorsqu'ils vont en voyage dans les contrées palustres au pied de l'Himalaya, dont nous parlions au début, ils ont bien soin de n'y boire que de l'eau bouillie ou du thé, ou encore ils filtrent patiemment leur eau à travers du sable. Et cependant aucun d'eux n'a la moindre idée de ce qu'est un germe ou une bactérie.

De même, les Sakhai, nomades aborigènes qui vivent dans la jungle profonde de la péninsule malaise, ne boivent pas l'eau des marais. Mais ils parcourent de grandes distances pour aller chercher celle des cours d'eau qu'ils rapportent chez eux dans des tubes de bambou. Ils ont observé qu'en faisant ainsi, ils avaient moins de cas de fièvre.

On pourra, dit l'auteur, objecter à tout ceci les expériences des savants italiens qui, étudiant le paludisme dans la campagne romaine, évitèrent le paludisme en se mettant simplement à l'abri de la piqure des moustiques.

Tout cela est vrai, mais, ajoute-t-il, ils étaient parfaitement protégés contre les intempéries et surtout buvaient du vin et de l'eau distillée. Tout ce qu'ils prouvèrent ainsi, c'est que le moustique transmettait le paludisme. Or, s'ils avaient vécu dans les conditions des malheureux habitants de cette même campagne romaine, s'ils avaient bu l'eau stagnante des mares que boivent les habitants, le problème aurait peut-être eu une tout autre solution. Et il se serait passé pour eux ce qui s'est passé pour les soldats américains de Santiago qui buvaient l'eau des tranchées, et piqués par les moustiques contractèrent le paludisme alors que leurs camarades du camp de Mac Calla qui buvaient de l'eau distillée, tout en étant piqués par ces mêmes moustiques, restèrent indemnes de la maladie.

L'auteur, pour bien appuyer sa théorie, rapporte d'ailleurs qu'il eut la surveillance médicale d'une expédition de 500 hommes dans le nord du Siam en des régions terriblement mortelles au point de vue paludisme. Il leur fit boire de l'eau bouillie, prendre de la quinine prophylactique et bien qu'ils n'eussent pris aucune mesure de protection contre les moustiques, il n'eut pas à déplorer la perte d'un seul homme.

Et il conclut, en insistant fortement sur l'utilité de ne prendre que

de l'eau bouillie, c'est-à-dire stérilisée, si l'on veut éviter le paludisme dans les contrées tropicales. Il cite même l'exemple d'un de ses amis, ingénieur civil dans le Burma, qui vécut pendant 7 mois dans la jungle avec un détachement. Tout le personnel du détachement se servait de moustiquaires, mais lui seul, de toute sa troupe, buvait de l'eau bouillie. Aussi fut-il le seul qui échappa à la fièvre.

Nous demandons pardon à nos lecteurs d'avoir abusé de leur patience au sujet de la transmission du paludisme par l'eau de boisson. Mais il s'agit de préserver une bonne partie de nos compatriotes vivant aux colonies, y souffrant, pour la plus grande France, des atteintes de cette terrible maladie, et nous ne saurions trop montrer le danger, lorsque, comme nous le verrons plus loin, on peut avoir toujours sous la main le remède pour la stérilisation de l'eau de boisson.

5° *Autres maladies des pays chauds.*

Beaucoup d'autres maladies des pays chauds sont dues à l'absorption de mauvaise eau de boisson. Nous allons en citer quelques-unes.

Le béribéri attribué jusqu'à présent à des toxines contenues dans le riz décortiqué et fermenté, aurait une origine hydrique. Le docteur Rall cite à ce sujet deux épidémies survenues à bord d'un navire norvégien et qui semblent en donner la preuve (1).

Dans les deux épidémies, les hommes étaient restés en bonne santé tant qu'ils avaient eu à boire de l'eau venue d'Europe, et bien qu'ils séjournassent dans des contrées où le béribéri est endémique. Mais cette eau étant venue à manquer, on dut s'approvisionner d'eau fraîche, dans un cas à Batavia, dans l'autre à Maurice, deux localités où règne la maladie. Environ 4 ou 5 semaines après le moment où l'on eut commencé à consommer cette eau, le béribéri fit irruption à bord du navire.

Le ver de Guinée peut avoir la même origine. En 1904, cite Malmejac, M. Antony fit à la Société de Médecine des Hôpitaux, la communication suivante :

« A la suite de l'absorption d'eau impure provenant des mares qui entourent le lac Tchad, un malade fut atteint de ver de Guinée. Celui-ci s'étendit en longueur dans le tissu cellulaire du pied et put être extrait à la suite d'incisions multiples. Il mesurait 60 à 80 centimètres (2). »

1. RALL : Le béribéri et l'eau de boisson. — Brit. med. Journal. T. 2, 1894, p. 87.

2. MALMEJAC : Comment épurer son eau. — Paris, Vigor, 1907, in-16.

La filariose, d'après les conclusions de MM. Marotte et Morvan (1), se contracte soit par ingestion de larves, soit par inoculation par des moustiques du genre *Mansonia*. Aussi, des auteurs recommandent-ils, parmi les mesures de prophylaxie, la surveillance et la protection des eaux d'alimentation.

Kermorgant (2) donne d'autre part des renseignements très intéressants sur la transmission de la douve à l'homme dans notre colonie du Tonkin. « Il faut s'en méfier, dit-il, car bien que les accidents provoqués
« par la douve soient sans gravité dans la plupart des cas, leur présence
« dans le foie doit intervenir comme une cause fortement aggravante
« de toute maladie de ce viscère (et on sait que les abcès du foie, conséquence de la dysenterie, sont fréquents au Tonkin).

« En ce qui concerne la prophylaxie, continue-t-il, il y a des points
« qu'il ne faut pas négliger. On sait que les œufs de la douve sont rejetés
« au dehors avec les déjections, et que, s'ils tombent dans l'eau, ils y
« achèvent leur développement, puis mettent en liberté, d'après Raphaël
« Blanchard, un microcidium, embryon cilié qui nage à la façon d'un
« infusoire. Cet embryon meurt rapidement, s'il ne rencontre pas un
« mollusque susceptible de lui donner abri pour poursuivre son évolution.

« Or, ce mollusque peut être absorbé en même temps que l'eau
« d'alimentation. Les indigènes sont d'ailleurs convaincus depuis longtemps que c'est par l'ingestion d'une eau malsaine que le parasite
« s'introduit dans l'économie, donnée qui a été vérifiée depuis.

« Tous les efforts des médecins et des commandants de poste, conclut-il, doivent tendre à ne donner aux hommes qu'une eau irrécusable en la faisant stériliser. »

6° *Ankylostomiase.*

D'après Calmette (3), cette horrible maladie du nord de la France (si fréquente chez les mineurs) et d'une immense partie des Etats-Unis d'Amérique, se contracte par pénétration directe à travers la peau humide et excoriée. Mais il reconnaît qu'il faut aussi faire une large part à la pénétration dans l'organisme par l'eau de boisson.

1. MAROTTE ET MORVAN : Filariose au bataillon de tirailleurs sénégalais d'Algérie. — Archives de médecine et de pharmacie militaires. T. 61, 1913. p. 1.
2. KERMORGANT : Sur la fréquence de la distomatose hépatique au Tonkin. — Bulletin de l'Académie de médecine (3^e série). T. 53, p. 104.
3. CALMETTE ET BRETON : L'ankylostomiase, maladie sociale (anémie des mineurs). — Paris, MASSON, éditeur, 1905, in-8.

7^o Pellagre.

Cette maladie qui fait de nombreux ravages en Italie, a été attribuée jusqu'à présent à l'absorption de toxines alimentaires contenues dans le maïs avarié. Nous ne rapporterons pas ici toutes les preuves données par le professeur Alessandrini (1) pour combattre cette théorie, cela nous entraînerait trop loin.

Nous dirons simplement avec ce savant, que cette maladie doit avoir une origine hydrique pour les raisons suivantes :

1^o La maladie est absente complètement des localités où l'on boit de l'eau claire et courante ;

2^o Elle est présente là où l'eau consommée est puisée dans les mares stagnantes, des fosses, des puits, ne dépassant pas la couche superficielle ;

3^o Elle disparaît graduellement des régions fortement assainies ;

4^o Elle a rapidement disparu des localités où l'on a construit des aqueducs ou creusé des puits artésiens dans la couche profonde, ou réparé des puits en mauvais état ;

5^o Elle sévit sans arrêt ou augmente d'intensité dans les régions qui n'ont pas été assainies en ce qui concerne l'eau potable ;

6^o La pellagre est plus commune dans les campagnes où la densité de la population est plus grande, et où rien n'a été fait pour améliorer les conditions de l'eau potable.

L'auteur croit pouvoir affirmer que l'infection qui se propage ainsi par la voie de l'eau n'est due ni à un bacille (Tizzoni) ni à un protozoaire (Sambon), mais plutôt aux larves de Filaridès.

Il dit avoir trouvé ces larves, dans les eaux des localités à pellagre, en nombre plus considérable là où la maladie était plus sévère ; et jamais dans les eaux limpides ou amenées par les aqueducs et dans les canalisations, ni dans les eaux même stagnantes des localités indemnes.

D'après L.-W. Sambon et A.-J. Chalmers (2), cette maladie serait également endémique en Angleterre depuis fort longtemps. Ceci est très important, car c'est un argument plus sérieux en faveur des adversaires

1. ALESSANDRINI : Observations épidémiologiques sur la pellagre en Italie. — *Annali d'Igiene Sperimentale*, Rome. Vol. 20, 1910, p. 393.

2. SAMBON ET CHALMERS : Pellagre dans les Iles britanniques. — *British Medical Journal*, 1912, p. 1093.

de la théorie alimentaire de la pellagre, par le maïs. Bien plus, sa distribution topographique en Angleterre semble concorder avec l'existence des *simulium* (insectes piqueurs) qui infectent les cours d'eau. D'où contamination également possible par l'eau de boisson tout comme pour le paludisme.

CHAPITRE III

Accidents dus aux matières minérales des eaux

Jusqu'à présent nous avons étudié les causes d'insalubrité des eaux de boisson en ce qui concerne les organismes vivants qu'elles peuvent contenir. Il nous reste toutefois, pour clore cette étude, à examiner le rôle *des matières minérales* qu'elles tiennent souvent en dissolution.

Celles-ci empruntées aux terrains qu'elles traversent ou sur lesquels elles ruissellent, ne sont en général pas dangereuses. Bien qu'elles puissent être extrêmement nombreuses, et devenir parfois si abondantes que l'eau en devient médicinale, aucune ne peut provoquer dans l'organisme des troubles mortels, tout au plus des accidents. On peut citer à ce sujet certaines eaux des Alpes auxquelles il faudrait attribuer l'origine du goître, certaines eaux des Pyrénées ou du Plateau Central dont la grande richesse en silice provoque la carie dentaire. Ce ne sont pas là des accidents mortels.

Certaines eaux sont parfois chargées en chaux et en magnésie, comme les eaux du Bassin parisien ou celles du Bassin de l'Elbe. D'autres sont riches en chlorures du fait de leur voisinage du bord de la mer et d'infiltrations souterraines. Aucune de ces eaux n'est, faute de mieux, à rejeter de l'alimentation si elle est dépourvue de microbes. Le bacille, voilà l'ennemi.

C'est ainsi par exemple que la ville de Magdebourg qu'alimentent les eaux de l'Elbe, absorbe journellement et sans inconvénient aucun, de fortes quantités de magnésie. Les mines de Mansfeld et les nombreuses mines de sel disséminées en amont, envoient en effet dans l'Elbe et ses affluents leurs eaux résiduaires très riches en magnésie et en chlorure de sodium. Or, les recherches faites sur ces eaux qui renferment de 60 à 100 milligrammes de magnésie par litre, ont montré qu'elles n'étaient pas nuisibles à la santé. Quinze villes allemandes au moins, dont Bamberg-Erfurt, Munich, Goettingen et Wurzburg, consomment des eaux plus riches encore en sel que celles de l'Elbe. Halle, dans le Wurtemberg, a des eaux très dures contenant 122 milligrammes de magnésie par litre ; ces eaux sont cependant bues sans accident (1).

1. Les sels et les eaux potables à Magdebourg. -- Engineering. T. 92, 1911, p. 134.

Le seul inconvénient des eaux trop calcaires, et cela arrive pour certaines eaux ayant traversé les calcaires de l'oolithe inférieure, est que ces eaux se trouvent souvent envahies par la chara, surtout pendant les mois d'été.

Or, cette plante ne tarde pas à dépérir et il en résulte que les eaux se chargent de matières organiques, d'où milieux de culture pour les germes morbides (1).

Certaines eaux sont très riches en manganèse et en fer, et lorsqu'elles proviennent de terrains propices, c'est-à-dire ceux où les eaux sont exemptes de germes, il est parfois avantageux de les faire servir à l'alimentation. Nous citerons à ce sujet les eaux d'alimentation de la ville de Hanovre (2), celles de la ville de Lehe (3) en Allemagne, celles de Stettin. Ces eaux sont limpides au moment de leur extraction, mais pour peu qu'on les laisse au contact de l'air, elles deviennent troubles et présentent à leur surface un voile irisé et au fond, un sédiment brunâtre par oxydation et formation d'oxydes de fer et de manganèse insolubles.

Disons tout de suite qu'on s'en débarrasse aisément en les faisant ruisseler sur des colonnes de coke reposant sur des grilles et dans lesquelles est assurée une ventilation intense non seulement par ces grilles mais aussi par des ouvertures situées dans les parois. Ceci fait, il suffit de les filtrer au sable pour se débarrasser des oxydes formés. Les eaux ainsi obtenues sont parfaites.

Voici à titre de document le résultat obtenu par ce procédé à Lehe, en Allemagne :

	Par litre	
	d'eau brute.	d'eau filtrée.
	(milligrammes)	(milligrammes)
Fer.....	3,03	0,14
Manganèse.....	0,17	traces
Oxygène.....	3,1	7,1

Citons pour les eaux ferrugineuses un inconvénient analogue à celui des eaux trop calcaires. Elles se laissent souvent envahir par les crenothrix, algues sans chlorophylle, pouvant se développer en l'absence de

1. J.-H. GARRET : Auto-pollution des eaux par les plantes qui s'y développent. The Surveyor, 1912, p. 29.
2. KELLNER : Deferrisation des eaux à Hanovre. — Gesundheits, ingénieur. T. 36, 1913, p. 493.
3. FRIESE : Une nouvelle station de deferrisation. — Journ. für Gasbel und Wasservers. T. 55, 1912, p. 150.

la lumière et par conséquent envahir les conduites, d'où présence de matières organiques et possibilité de développement de germes morbides.

Les crenothrix, de plus, donnent toujours une mauvaise odeur aux eaux dans lesquelles elles se sont développées (1).

Nous ne parlerons que pour la forme des nitrates, des nitrites, de l'ammoniaque, qui par eux-mêmes ne signifient rien dans une eau dont on a détruit tous les germes, pas plus que des traces de métaux que peuvent contenir les eaux de boisson, comme le zinc par exemple. Depuis longtemps, Roques (2) a démontré que les métaux en général, le zinc, le plomb et le cuivre en particulier, sont attaqués par les eaux. Des recherches ont été faites surtout en ce qui concerne le zinc, métal dont sont faits pas mal de nos récipients, destinés à contenir les eaux de boisson. D'après Carnevali (3), il faudrait éviter d'employer ce métal pour cet usage, car bien que les eaux potables ne l'attaquent pas, ou plutôt l'attaquent en donnant avec lui des carbonates insolubles, l'eau distillée, et par suite l'eau de pluie, peuvent le dissoudre après un temps relativement court, et somme toute, le zinc est un métal toxique.

D'autre part, le laboratoire de chimie de l'Université de Tubingen (4) a vu que les eaux de conduite de la ville circulant dans des tuyaux de fer zingué, contenaient jusqu'à cinq milligrammes de fer par litre et cela sans inconvénient pour la santé publique.

Nous avons hâte de signaler la présence toujours possible d'un métal extrêmement dangereux, d'origine non pas naturelle, mais amené par l'homme lui-même : nous voulons parler du plomb.

L'attention, sur les dangers que peut faire courir à la santé publique le plomb, contenu en dissolution dans l'eau de boisson, remonte à 1849, époque à laquelle la famille d'Orléans, séjournant au château de Claremont, fut intoxiquée par des eaux de source reçues dans une citerne de plomb. Ces eaux analysées par W. Hoffmann, contenaient 1 grain de plomb par gallon, soit 14 milligrammes de plomb par litre (5). Quoique ancienne déjà, cette observation est bonne à citer, car nous l'avons dit, c'est elle qui pour la première fois attira fortement l'attention sur le danger des tuyaux et réservoirs de plomb destinés aux eaux potables.

1. J.-H. GARRET : Auto-pollution des eaux par les plantes qui s'y développent. — *The Surveyor*, 1912, p. 29.

2. ROQUES. — *Revue d'Hygiène*, 1880, p. 656.

3. CARNEVALI. — *Annali d'igiène sperimentale*, nouv. série. — T. 12, 1902, p. 78.

4. *Journal Suisse de Chimie et de Pharmacie*, 1910, p. 424.

5. L'action des eaux potables sur les canalisations en plomb et les dangers qui en résultent. — *Bull. off. inter. d'Hyg. pub.* T. 7, 1915, p. 641.

Ce sont surtout les eaux acides, ayant séjourné dans des terrains tourbeux, riches par suite en acides humiques qui dissolvent le plomb avec le plus de facilité et causent par suite le plus d'empoisonnements. On en a constaté de nombreux exemples dans diverses villes d'Angleterre.

D'une manière générale, par contre, on peut dire que les carbonates alcalins jouissent de l'action contraire ; à côté des carbonates et des bicarbonates, on peut placer les phosphates. Ces sels sont de vrais agents de protection contre le plomb et ceci s'explique, car ils forment, avec ce métal, des précipités insolubles.

Les sulfates, chlorures et acétates, jouent un rôle analogue, mais cependant plus faible. Par contre, les nitrates ont une tendance marquée vers l'augmentation du pouvoir dissolvant des eaux vis-à-vis du plomb.

Le chlorure, l'acétate, le nitrate d'ammoniaque, surtout ce dernier, ont une action très marquée. Chose remarquable, le sulfate d'alumine et surtout l'oxyde de calcium, dissolvent des poids assez importants de plomb.

Les gaz dissous dans l'eau peuvent jouer un rôle dans l'action dissolvante du plomb, les gaz les plus actifs à ce sujet étant l'oxygène et l'acide carbonique. La quantité de plomb dissoute s'élève dans ce cas avec la température pour présenter un maximum à 60°.

La question du plomb dans les eaux de boisson est d'autant plus importante que dans notre vie moderne actuelle, ce métal est employé pour une large part dans les canalisations d'eau.

Cette question a été pour la première fois étudiée d'une manière complète par Boudet dans un rapport présenté en octobre 1873 au Conseil d'hygiène et de salubrité de la Seine.

Ce chimiste s'était livré avant de conclure à des expériences dont on peut résumer ainsi le résultat :

Lorsqu'on met du plomb avec de l'eau distillée aérée, il se forme assez vite autour du métal un précipité qui se dépose lentement au fond du vase. Ce précipité blanc, soyeux, très divisé, contient de l'acide carbonique.

Il semble formé d'une combinaison d'hydrate et de carbonate plombiques en partie solubles dans l'acide carbonique ambiant et, comme tel, pouvant passer au travers des filtres.

En soumettant à un courant d'acide carbonique de l'eau de Seine tenant en suspension de l'hydrocarbonate de plomb, cette eau, malgré

les sels de chaux qu'elle contenait, dissolvait une quantité de plomb très appréciable.

Il vit aussi que l'eau de pluie aérée, additionnée par litre de 0 gr. 08 de carbonate de chaux dissous, n'agissait pas sur le plomb, que les sulfates de soude, de chaux, de magnésie, dissous dans l'eau aérée à la dose de 4 décigrammes par litre, paralysaient l'action de l'eau sur le plomb. Que le plomb n'était pas attaqué par l'eau pure contenant une faible proportion de carbonate ou de bicarbonate de soude.

Tout ceci est très important, car la présence du carbonate de chaux, du carbonate de soude, la formation de traces de sulfates solubles dans un procédé d'épuration des eaux auxquelles nous donnons la préférence, le procédé Froment-Lambert, expliquent comment ce procédé met par son emploi à l'abri des dangers de l'intoxication saturnine par les eaux de boisson.

Il faut donc se méfier de l'influence du plomb, même sur les eaux très calcaires, car il suffit que ces eaux soient fortement aérées pour dissoudre ou tenir en suspension une partie du carbonate de plomb qui se fixe sous forme d'incrustations dans l'intérieur des tuyaux.

Au château de Claremont, on buvait sans inconvénient apparent, depuis plus de 30 années, des eaux qui, après avoir passé dans des tuyaux de plomb, étaient reçues dans une citerne revêtue du même métal. Les intoxications saturnines graves ne se produisirent que du jour où l'on fit laver ces citernes et où l'on filtra ces eaux sur un banc de sable qui favorisait leur aération. Si l'air vient à pénétrer dans des tuyaux de plomb, par suite des variations de la pression, ou par le fait que les tuyaux ont un diamètre trop large, la présence de l'air dans les tuyaux peut déterminer des accidents semblables (1).

A côté de ces accidents, il faut citer ceux dus à l'action sur les canalisations de plomb des eaux ayant séjourné totalement ou en partie dans des terrains tourbeux (moorlands des Anglais). Le sol des landes est en particulier à craindre à ce sujet. Ce sol, en effet, en général, renferme beaucoup de tourbe, très inégalement distribuée tant en surface qu'en profondeur. Souvent, au-dessous de la tourbe se trouvent des couches imperméables qui forment des poches où l'eau stagne, baignant la tourbe. La tourbe humide examinée sur place est acide ; or, l'eau qui provient des sols tourbeux est également acide et l'est d'autant plus que son contact avec la tourbe a été plus prolongé.

1. HEAP : Contribution à l'étude de l'action des diverses eaux sur le plomb. — Journal Soc-of chemical industry, 1913, p. 771, 841 et 847.

Les eaux acides provenant des landes dissolvent donc le plomb et leur capacité à cet égard est dans une large mesure en rapport direct avec leur acidité.

Elles attaquent non seulement le plomb nu brillant, mais aussi le vieux plomb recouvert de l'enduit oxycarbonaté qu'il prend par une longue exposition à l'air ou dans l'eau.

Les eaux qui ont circulé au travers des roches pyriteuses peuvent également être acides et capables de dissoudre le plomb.

Nous citons quelques faits qui montreront combien peuvent être graves les cas d'intoxication (et ils sont bien plus nombreux qu'on ne le suppose dans le public) causés par les eaux plombifères.

Tout d'abord les observations faites par le docteur Seymour sur les eaux de Guisborough (1).

Guisborough est une petite ville de 7.000 habitants, située dans le district nord du Yorkshire. Il n'y avait pas été question d'intoxications saturnines avant 1909. A partir de 1909 jusqu'en 1912 quelques cas suspects furent cependant relevés par les médecins locaux. Mais en 1913, les cas, jusque-là sporadiques, se multiplièrent au point de prendre l'allure d'une petite épidémie. On signalait en effet : 1 cas en mars, 1 cas en avril, 20 en mai, 37 en juin, 20 en juillet, 4 en août, 4 en septembre. Ces cas furent les uns légers, les autres graves. Quelques-uns de ces cas offrirent le type classique de l'intoxication saturnine d'intensité moyenne.

Les symptômes les plus fréquemment observés consistaient en : douleurs abdominales vives, s'irradiant dans la partie inférieure de l'abdomen ou autour de l'épigastre ; constipation opiniâtre, céphalées violentes, douleurs névralgiques affectant le plus souvent les membres inférieurs et rapportées principalement aux os longs et aux articulations : faiblesse générale, anémie, même chez les hommes et les femmes âgées. Le liséré gengival saturnin se montra dans quelques cas.

Le plus souvent (dans 70 analyses sur 100) on retrouva le plomb dans les urines.

Parmi les causes d'intoxication saturnine susceptibles d'affecter ainsi la totalité de la population sans distinction de quartier, de sexe, d'âge, l'enquête n'en fit pas découvrir d'autre que celle pouvant se rattacher à l'eau potable. Cette eau provenait de landes tourbeuses et le plomb était dû aux tuyaux de canalisation. Il est intéressant de remar-

1. FRANK-SEYMOUR : 43^e rapport annuel du Local Government Board. — Supplément 1913-1914 : Sur des cas d'empoisonnement par le plomb, à Guisborough. Série n° 86, 1913.

quer que douze des individus chez lesquels se manifestèrent les accidents saturnins les plus graves, habitaient des maisons dans lesquelles le développement de la canalisation en plomb atteignait une longueur de 90 mètres.

L'examen des tuyaux de plomb montrait qu'ils étaient fortement corrodés. Dans quelques cas, la corrosion avait même provoqué la rupture.

Une eau suspecte à ce point de vue est certainement celle de Wakefield (eau tourbeuse). Son acidité est telle que la quantité de plomb dissoute en 12 heures varie de 1 gramme à 0 gr. 55 par litre d'eau (1).

Un autre fait intéressant est le suivant : en 1913 un malade se présente à l'hôpital de Francfort-sur-Mein (2) avec des symptômes d'empoisonnement saturnin. On fait aussitôt des recherches dans le village d'où il venait. Sur 26 habitants pris au hasard, on trouve 12 cas présentant des symptômes certains de saturnisme, 6 étaient suspects et les 8 autres qui étaient indemnes étaient des enfants ; comme il s'agit d'intoxication chronique, on peut croire que les enfants n'avaient pas, en raison de leur âge, subi depuis assez longtemps l'action du plomb (note de l'auteur). On reconnut que ces empoisonnements étaient dus aux eaux potables captées dans des sources et amenées au village par des conduites en fonte suivies de tuyaux de plomb dont le plus long avait 180 mètres. Ces eaux étaient fort peu calcaires et contenaient des nitrates, 12 milligrammes d' $\text{Az}^2 \text{O}^5$ par litre qui, nous l'avons vu, favorisent la dissolution du plomb. Les tuyaux étaient recouverts à l'intérieur d'un enduit blanc formé d'environ 96 0/0 de carbonate de plomb ; la teneur des eaux en plomb variant de 6 milligrammes à 12 milligrammes par litre.

Passons maintenant en Italie. Pendant l'été de 1910, il y eut de nombreux cas d'empoisonnement parmi les habitants et la clientèle de la station balnéaire de Gornia Bania (3). Sur 5 personnes qui se présentèrent à l'hôpital, une mourut le lendemain avec tous les symptômes d'un empoisonnement par le plomb. L'enquête démontra que tous ces cas d'empoisonnement présentaient les mêmes caractères. On ne put constater la présence du plomb parmi les produits d'alimentation, mais on avait ménagé, peu de temps auparavant, une nouvelle conduite d'eau de source (en tuyau métallique galvanisé) et tous les malades avaient

1. SMITH : Méthodes de traitement de l'eau pour empêcher les tuyaux de plomb d'être attaqués. — *Journal of the Royal Institute of Public Healths* XVIII, n° 2, février 1910.

2. NEISSER : Empoisonnement saturnin d'un village par les eaux d'une conduite. — *Gesundheits Ingenieur*. T. 36, 1913, p. 920.

3. RAÏKOFF : Les causes des empoisonnements saturnins parmi les habitants du village de Gornia-Bania pendant l'été de 1910. — *Sovremenna Hygiēna*. Sofia. T. 1, 1912, p. 1.

précisément consommé de l'eau de cette conduite. Tous les habitants consommant l'eau de la même source, on pensa qu'il fallait attribuer les empoisonnements à la nouvelle conduite. Cette hypothèse se justifia pleinement, car le zinc du tuyau de la conduite contenait 0,7 0/0 de plomb et puisque le zinc (nous l'avons vu plus haut) peut être dissous, surtout lorsque la présence de produits minéraux favorise cette dissolution ; les tuyaux galvanisés s'étaient dégalvanisés ainsi, et le plomb était passé en suspension dans l'eau de boisson.

Les villes coloniales n'échappent pas à ce danger. C'est ainsi que R. Montel (1) a poussé pour la première fois le cri d'alarme en ce qui concerne la ville de Saïgon.

« La mauvaise qualité des eaux de Saïgon, dit-il, entre certainement en ligne de compte dans la morbidité et la mortalité par affections intestinales. Mais il faut aussi signaler leur propriété d'attaquer les tuyaux de plomb. De nombreux cas d'intoxication par le plomb, dus à l'eau plombifère, ont été signalés à Saïgon. »

Le pharmacien major Georges Lambert nous a également signalé qu'en 1914-1915, la ville de Brazzaville (Congo français) avait été fortement éprouvée par des cas d'intoxication saturnine provenant de la même cause.

Le docteur J. Aspinall Marsden (2), médecin sanitaire du Shelf. Urban (District Council), a cité le cas de nombreuses maisons en Angleterre desservies par des canalisations en plomb et dont l'eau contenait ce métal.

Lorsque la quantité de plomb dissoute dans les eaux de boisson est notable, le danger est peut-être moins grand, car on est souvent prévenu de ce danger pour toute une population par un cas soudain et précoce de saturnisme aigu. Il y a au contraire énormément à craindre lorsque l'eau ne dissout que de très petites quantités de plomb, parce que l'empoisonnement par ce métal, lorsqu'il est très lent, est plus difficile à diagnostiquer et peut avoir frappé simultanément toute une population depuis longtemps sans qu'on s'en soit aperçu (3).

Pour se préserver des dangers d'une telle intoxication, les villes emploient divers procédés que nous allons maintenant citer :

1. MONTEL : Rapport fait au nom de la Commission des eaux de boisson de la ville de Saïgon. — Bulletin de la Société de Pathologie exotique. T. 4, 1911, p. 347.
2. J.-A. MARSDEN : Effets des tuyaux de plomb sur les eaux potables. — The Sanitary Record and Municipal Engineering. T. 54, 1914, p. 300.
3. Le traitement des eaux d'alimentation en vue de prévenir la dissolution du plomb. — Le Génie civil. Vol. 64, 1914, p. 445.

A Francfort (eaux alcalines) on enlève l'acide carbonique libre des eaux souterraines du Stadtwald qui en contiennent 30 milligrammes par litre et qui dissolvent le carbonate de plomb d'incrustation des tuyaux, en les faisant tomber en pluie de un mètre de haut, puis on les passe sur des filtres en grains de marbre. On traite ainsi 23.000 mètres cubes d'eau par jour (1).

En Angleterre (eaux acides), on traite les eaux, soit par du lait de chaux, soit encore par du carbonate de soude (méthode Frankland, employée à Wakefield (1).

A Mossley (Angleterre), on traite d'abord l'eau par un lait de chaux légèrement carbonaté qui a pour effet de neutraliser l'acidité naturelle de l'eau. On ajoute ensuite du sulfate d'alumine ; il se forme un précipité gélatineux d'alumine qui entraîne en se déposant toutes les matières en suspension dans l'eau. La revue scientifique *Engineering* du 9 janvier (2) qui relate cette méthode, remarque que le contrôle des quantités de chaux et de sulfate d'alumine ajoutés doit être exactement surveillé, car il ne faut pas qu'après traitement il reste dans l'eau le moindre excès de sulfate d'alumine, ce sel, ainsi que nous l'avons fait remarquer au début de ce chapitre, favorisant la dissolution du plomb.

On a également préconisé pour les eaux tourbeuses l'emploi de filtres qui retiennent la tourbe en suspension, après quoi on les fait passer sur l'oxyde de magnésium (3) ou la filtration sur des filtres calcaires tels que le sable de l'Ouse ou du Trent (Angleterre).

Nous arrêterons ici en formulant les conclusions suivantes :

1^o Il n'y a vraiment de dangereux dans les eaux de boisson que des microbes ou bien des sels de plomb provenant des canalisations ;

2^o Pour enlever les sels de plomb, il faut dans tous les cas ajouter du carbonate de chaux qui détruit par formation de bicarbonate l'acide carbonique libre tenant en dissolution le carbonate de plomb (eaux alcalines) ou bien neutralise l'acidité de l'eau (eaux tourbeuses).

3^o L'adjonction de carbonates alcalins ou de traces de sulfates, puis la filtration est une chose excellente pour enlever toute trace de plomb.

Ainsi que nous le verrons à la fin de cet ouvrage, c'est là la base du procédé Froment-Lambert.

1. IMBEAUX : Le Génie sanitaire à l'Exposition de Dresde. — Revue hyg. et police sanitaire. T. 34, 1912, p. 235.

2. DIXON ET DELEPINE : *Engineering*. T. 97, 1914, p. 55.

3. Traitement d'une eau tourbeuse. — *The Sanitary Record*, 17 février. T. 45, 1910, p. 151.

CHAPITRE IV

Surveillance des eaux

Boire de l'eau pure est donc une des conditions primordiales du bien-être et de la santé. Nous avons vu dans les chapitres précédents, tous les inconvénients des eaux impures, combien étaient rares ceux qui, chez eux, ont de l'eau d'alimentation biologiquement pure, c'est-à-dire non contaminée.

Les Anciens avaient déjà constaté la corrélation qui existait entre le développement de certaines maladies et la qualité de l'eau de boisson. L'origine de la peste d'Athènes fut attribuée, à l'empoisonnement des citernes de la ville par les habitants du Péloponèse.

En 630, le roi Dagobert émit un édit frappant d'amende la souillure des puits ; en 1224, l'empereur Frédéric II en fit de même. Pendant la peste noire du xiv^e siècle, on brûla quelques juifs accusés d'avoir contaminé l'eau servant à la boisson.

Jusque là toutefois, rien n'avait été fait d'une manière sérieuse pour procurer aux agglomérations, villes, villages, bourgs, de l'eau pure. Il faut arriver jusqu'en 1802 pour voir créer à Paris le premier Conseil d'hygiène, sous la présidence du pharmacien de l'armée Parmentier, et composé de trois autres pharmaciens, Cadet-Gassicourt, Huzard et Deyeux.

En 1807, deux médecins, Leroux et Dupuytren, y furent adjoints (1).

C'est un simple praticien de province, le docteur Dionis des Carrières (1825-1915), médecin à Auxerre, qui fit faire de grands progrès à l'hygiène des eaux de boisson. Son nom mérite d'être conservé au point de vue scientifique; c'est lui, en effet, à qui l'on doit la démonstration rigoureuse de la propagation de la fièvre typhoïde par les eaux potables à l'occasion d'une épidémie de fièvre typhoïde survenue à Auxerre en 1882 et 1883 (2).

Le docteur Dionis des Carrières en déduisit la nécessité d'une *zone de protection* pour les sources destinées à l'alimentation.

C'est en effet une erreur fort répandue, *même dans le corps médical*, de croire que les eaux souterraines sont naturellement et efficacement filtrées, épurées par le sous-sol. Cette épuration ne se réalise vraiment

1. MALMEJAC : Comment épurer son eau. — Paris, 1907, Vigot, in-16.

2. GEORGES LEMOINE : Communication à l'Académie des Sciences d'une notice sur le Dr DIONIS DES CARRIÈRES. — Séance du 21 février 1916. Comptes rendus Ac. des S. T. **162**, 1916, p. 287.

que dans les sables assez fins, ayant des grains d'une grosseur variant entre 0 m/m 3 à 1 millimètre.

Au contraire, comme l'a démontré M. Martel (1), dans la plupart des roches, les cassures naturelles permettent aux eaux de pluie (et même des cours d'eau) de pénétrer et circuler à l'intérieur du sol sans qu'aucune épuration ne s'ensuive. Bien plus, il semble que l'écoulement libre, parmi ces cassures, les infiltrations qui de proche en proche et de loin en loin finissent par constituer les nappes des puits et par provoquer l'émergence des sources, assurent à l'abri de la lumière et de l'air extérieur, la conservation, peut-être même, la pullulation des bactéries dont les ruissellements ont pu se charger. Les terrains calcaires présentent en cela, à cause de leurs fissures (2), les dangers les plus grands.

M. Martel a cité en particulier le cas de la petite ville de Sauve située entre Nîmes et le Vigan (Gard) et construite sur une falaise calcaire au pied de laquelle sort une source. Or, il vit au moyen de la fluorescéine que cette source était parfaitement contaminée par les déjections d'infiltration de la ville, grâce aux cassures existant dans la falaise ; et cela lui permit d'expliquer comment cette petite ville avait été si souvent décimée par les épidémies (celles de choléra en 1835 et 1884 en particulier) et comment la fièvre typhoïde y régna longtemps en maîtresse.

L'exemple de la petite ville de Sauve pourrait se multiplier à l'infini par des citations aussi typiques. Mais ce qu'il y a de plus grave, étant donné ces dangers de propagation des germes à l'intérieur du sol, c'est que ceux-ci peuvent se propager très loin. On a, en effet, constaté que les sources étaient formées par les eaux provenant de bassins d'alimentation d'étendues plus ou moins considérables, et que des fissures étroites, des rigoles, ou même *de véritables cours d'eau souterrains*, pouvaient amener jusqu'au point de leur émergence les impuretés et germes morbides déposés sur le sol ou dans le sol, et cela à des *distances excessivement grandes* et dans des *directions insoupçonnées*.

Ces contaminations, et nous en avons vu un bel exemple au sujet de la propagation de la fièvre typhoïde, peuvent avoir pour point de départ les mardelles ou bétouilles, les lits absorbants, les cours d'eau ou les ruisseaux intermittents, les puits, puisards, fosses fixes, fumiers et fosses à purin, lavoirs, et même les terrains trop perméables sur lesquels sont

1. MARTEL : La guerre et l'eau potable. — Contamination des eaux souterraines. Revue d'hygiène et de police sanitaire. T. 37, 1915, p. 449.

2. MARTEL : La contamination des sources dans les terrains calcaires. — Revue scientifique, 22 janvier 1898 (4^e série). T. 9, 1898, p. 123. — Bull. Soc. nat. d'agriculture. T. 57, 1897, p. 677.

faites des irrigations ou des projections de liquides ou matières contaminées.

La présence, sur un point quelconque du périmètre d'alimentation d'une source, d'un malade atteint d'une maladie transmissible par les excréta ou d'un porteur de germes présente un très grand danger pour les populations qui consomment l'eau de cette source.

Il est dès lors nécessaire de soumettre les périmètres d'alimentation de ces sources à une surveillance incessante, non seulement au point de vue technique, mais aussi au point de vue médical, surtout lorsque l'eau des sources envisagées est destinée à l'alimentation d'une agglomération importante.

Une telle surveillance, pour être efficace, exige une connaissance approfondie de la topographie, de l'orographie et de l'hydrographie de la région.

Telles sont les raisons qui ont amené la création, le 14 mai 1900, par arrêté du Préfet de police, d'un service de surveillance médical des sources de la ville de Paris.

Ce service tend à assurer autour des malades atteints de fièvre typhoïde, de dysenterie, de choléra, ainsi qu'autour des convalescents situés sur les localités englobées dans le périmètre de protection, des mesures prophylactiques propres à empêcher que les sources captées ne puissent être souillées par les produits pathogènes, les déjections, l'eau des baignoires, le lavage des linges et objets contaminés par eux, etc.

Ce service est basé sur une entente étroite avec les médecins locaux dont la collaboration est nécessaire pour avoir connaissance des cas de maladies transmissibles par l'eau et pour l'organisation des mesures prophylactiques destinées à empêcher la contamination des sources.

Dès qu'un de ces médecins a connaissance d'un cas confirmé ou même simplement suspect de fièvre typhoïde, de dysenterie, etc., il le signale au chef des services techniques de la ville de Paris et prend les précautions d'urgence.

Les excréta de toute nature sont recueillis au moment où le malade les émet, désinfectés et transportés en un point déterminé d'après la nature géologique du terrain, de manière qu'aucune infiltration ne soit possible. Les linges sont recueillis et bouillis sans essangeage préalable ou désinfectés suivant le cas avant toute autre manipulation. On s'attache également à englober dans les mesures prophylactiques, les gens sains

qui entourent le malade et peuvent, eux aussi, devenir des porteurs de bacilles.

Cette surveillance s'étend également aux porteurs éventuels de germes, notamment en ce qui concerne *les soldats dont l'autorité militaire annonce l'envoi en convalescence dans ces régions*.

Cette organisation d'hygiène rurale qui défend la ville de Paris contre la fièvre typhoïde et la tient sur ses gardes en ce qui concerne la dysenterie ou le choléra s'étend sur de vastes territoires. Elle repose sur le concours de 60 à 70 médecins en exercice dans ces régions.

On se rendra compte de l'étendue de ce périmètre de surveillance en jetant les yeux sur une carte et en songeant que la ville de Paris reçoit ses eaux d'alimentation de la Dhuis, de la Vanne, de l'Avre, du Loing, et du Lunain.

Lorsque ces eaux ne suffisent pas, on y ajoute l'eau de Seine filtrée dans les établissements de Saint-Maur et d'Ivry (1).

La ville de Paris possède dans chacun des bassins de ces sources un laboratoire local chargé de faire l'analyse journalière des eaux, les examens bactériologiques utiles au dépistage des cas suspects, sérodiagnostics, etc. Dès que les résultats des analyses indiquent des troubles suspects, on procède aussitôt à des recherches à la fluorescéine, on recherche les points par lesquels a pu se faire la contamination.

Enfin, entre temps, le service recherche et surveille également toutes les causes d'insalubrité existant ou pouvant surgir dans la région des sources : puits, fumiers, fosses à purin ou fosses d'aisance, lavoirs, puits à fonds perdus, etc. Il s'occupe de la suppression des bétouilles et effondrements, du pavage, des lits absorbants, des modifications de captage, des réparations d'aqueducs, des plantations protectrices, etc. (1). On a pensé à utiliser les eaux des vals de la Loire pour alimenter la ville de Paris.

Voici à ce sujet les conclusions du rapport de M. Chantemesse, déposé le 6 mars 1914 (1) :

« Des précautions analogues à celles qui sont prises dans les bassins
« des sources captées alimentant Paris, seront instituées dans la région
« de la Loire considérée. Le périmètre de surveillance médicale devra
« s'étendre sur les territoires d'où naissent les eaux se dirigeant vers
« les vals où seront installés les puits de captation. »

1. CHANTEMESSE : Adduction des eaux de la nappe souterraine des Vals de Loire pour l'alimentation de Paris. — Rapport publié dans les comptes rendus du Conseil d'hyg. publ. de la Seine. T. 20, 1914, p. 99.

Il se tient constamment au courant des événements géologiques, hydrologiques ou climatériques et procède à des examens fréquents du terrain, de manière à prendre des mesures sur place ou à provoquer la mise en décharge des sources menacées de pollution.

Il surveille également les aqueducs, leurs abords le long du parcours et veille à leur entretien (1-2).

Tous ces efforts n'ont certes pas été stériles puisque, depuis la création des services de surveillance médicale et locale des sources, la mortalité par fièvre typhoïde qui, en 1900, était pour la ville de Paris de 34,7 pour 100.000 habitants, est descendue à 6,8 et n'a pas dépassé 13.

• L'étude des sels contenus dans une eau et leur variation peut donner également d'excellents renseignements sur les précautions hygiéniques à prendre. Malméjac a bien fait ressortir, à ce sujet (3), que les variations du taux des chlorures dans une eau, sont le plus souvent liées à celles des matières organiques d'origine animale et des germes, mais qu'il n'y a aucun rapport fixe, malheureusement, à établir entre ces éléments d'appréciation; la variation du taux des sels totaux contenus dans une eau peut toutefois donner des indications générales et permettre « d'ouvrir l'œil » et veiller à une contamination possible. C'est ce qui est fait actuellement par le service de surveillance des eaux de la ville de Paris, par le procédé indiqué par F. Dienert et basé sur les variations apportées à la résistivité de l'eau par les variations des sels globaux dissous dans cette eau et déterminée par la méthode bien connue du pont de Kohlrausch (4).

F. Dienert a en effet montré que puisque la résistivité électrique de l'eau d'une nappe, d'une source donnée est en rapport avec les sels qu'elle tient en dissolution, cette résistivité changera dès que cette source, cette nappe, recevront un apport d'eau différente de celle qui les alimente ordinairement. Par exemple, quand, à la suite de circonstances particulières, elles recevront brusquement des eaux n'ayant que peu séjourné dans le sol, et par suite des eaux pauvres en sels. On sera ainsi averti de l'arrivée rapide à une nappe d'eau d'une forte pluie succédant à la sécheresse. Naturellement le fait ne se produisant pas pour des

1. PERISSE : Source artificielle d'eau potable. — Revue hyg. publique et police sanitaire. T. 45, 1913, p. 845.
2. HENRY THIERRY : Service de surveillance médicale des sources. — Rapport présenté au Congrès du Royal Institute of Public Health. Paris, 1913.
3. MALMEJAC : L'importance du dosage des chlorures pour la surveillance et l'appréciation des eaux d'alimentation. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences. T. 158, 1914, p. 650.
4. DIENERT : Des méthodes employées pour surveiller les eaux destinées à l'alimentation. — Annales Inst. Pasteur. T. 19, 1905, p. 541.

nappes parfaitement protégées, la résistivité de l'eau de ces nappes n'offrira pas de changements notables.

On observera au contraire après les pluies de fortes variations de résistivité dans les eaux provenant par exemple de calcaires fissurés, car, ainsi que nous l'avons dit plus haut, dans ces terrains, l'eau de pluie passe trop vite à travers la roche pour avoir le temps de lui emprunter ses sels.

Toutefois la résistivité de l'eau d'une nappe, d'une source, ne varie pas seulement du fait de la chute de pluie sur son périmètre d'alimentation et de l'arrivée rapide de cette eau de pluie dans la nappe. F. Dienert pense que certaines variations observées en dehors de tout incident météorologique doivent être attribuées à des changements de régime souterrains ; ainsi, une nappe venant à baisser de niveau au cours de la sécheresse, pourra se trouver seulement alors alimentée par une autre nappe, et ce phénomène se traduira par une modification de la résistivité ; un effondrement souterrain pourra encore amener le même résultat, transitoirement.

Bien entendu une modification de la résistivité, en cas de brusque apport d'eau superficielle dans une nappe n'est pas une preuve de souillure de celle-ci ; mais on saura par là que le moment est venu de surveiller de très près, au point de vue bactériologique, cette eau, dès lors suspecte de contamination dangereuse.

Bien entendu, l'étude journalière de la résistivité est complétée comme nous l'avons dit, par des analyses bactériologiques, aussi bien que par des recherches chimiques concernant les chlorures, les nitrates, les sulfates, la chaux, la magnésie et l'azote nitreux.

Je ne puis terminer ce chapitre sans émettre le vœu qu'une loi oblige, bientôt, les compagnies fermières des eaux d'alimentation à procéder elles-mêmes et à leurs frais à l'analyse des eaux qu'elles vendent aux consommateurs et garantir ainsi la pureté de cet élément indispensable.

Les bénéfices réalisés par ces sociétés sont assez considérables pour assurer, par un contrôle rigoureux, la qualité de l'eau.

DEUXIÈME PARTIE

Purification des Eaux.

CHAPITRE PREMIER

PURIFICATION NATURELLE

Après avoir vu la manière dont l'eau se souille à la surface du Globe, nous allons étudier la façon dont elle se purifie d'elle-même dans la nature. Nous ne ferons que mentionner à ce sujet la vaporisation, vraie distillation qui s'opère journellement de la terre aux nuages avec retour en sens contraire, et la filtration qui, nous l'avons vu, est souvent chose incomplète à cause des fissures et des crevasses de l'intérieur du sol. Nous nous étendrons au contraire sur le rôle de deux agents aussi importants que la vaporisation et la filtration, agents que l'homme a voulu employer aux mêmes usages, lorsqu'il a essayé de purifier son eau de boisson, nous voulons parler de l'action de l'oxygène et de l'action de la lumière.

L'oxygène joue un grand rôle à cet effet. On sait qu'il agit sur une foule de matières par combustion lente, tantôt par lui-même, tantôt aidé en cela par certains infiniment petits, puissants agents d'oxydation. Cette autopurification de l'eau par l'oxygène de l'air se fait d'une manière d'autant plus active que cette eau est constamment brassée, d'où autopurification intense et perpétuelle de l'eau des fleuves et des rivières, alors que celle des mares et des étangs, toujours stagnante, reste polluée et est par suite dangereuse à boire.

Ce qui se passe pour l'autopurification par l'oxygène de l'air dissous des rivières et des cours d'eau, est en somme la même chose que ce qui se passe pour la destruction des matières organiques dans le sol ou dans nos lits bactériens d'épuration des eaux résiduaires (1). Seulement, dans l'épuration des eaux courantes, intervient alors un nouveau facteur : la dilution.

Cette notion de l'auto-épuration des eaux courantes paraît avoir été introduite pour la première fois dans les sciences par Lethery, à l'occasion des travaux de la commission anglaise, chargée en 1867 d'enquêter

1. PHELPS : Etudes sur l'autopurification des rivières. — Public Healths Reports. Vol. 29, 1914, d'après Bulletin de l'Office international d'Hygiène publique, 1915, p. 563,

sur les moyens d'empêcher les pollutions des rivières. La commission d'ailleurs n'admit pas entièrement l'idée nouvelle, et fut d'avis que les prétendus phénomènes d'auto-épuration se réduisaient en réalité à un double travail de décantation et de dilution (1).

De nombreuses études entreprises bientôt de divers côtés, notamment en Allemagne sous l'inspiration de Pettenkofer, et en Amérique par Cumming, sur la rivière Potomac, et Frost sur la rivière Ohio (1) vinrent bientôt établir sans conteste cette notion, bien confirmée depuis, que les matières organiques déversées dans les cours d'eau, y sont reprises par un travail de désintégration et d'oxydation qui ne diffère en rien, quant à ses principes essentiels, de celui par lequel est assurée leur destruction dans le sol ou les installations artificielles d'épuration.

Le phénomène d'oxydation s'accomplit dans ces eaux aux dépens de l'oxygène dissous, amenant comme terme final le carbone des matières organiques à l'état de CO_2 , et l'azote à l'état de nitrates. Toutefois, comme dans l'épuration terrienne ou par lits bactériens, les microbes ne sont pas seuls en cause, et d'autres êtres plus élevés en organisation (algues, diatomées, protozoaires divers) exercent aussi une action mal connue, mais certaine sur le processus de destruction.

Ces organismes plus élevés joueraient, d'après certains auteurs, un rôle énorme sur la destruction des bactéries elles-mêmes dont elles font leur nourriture. Muller a ainsi constaté (2) que, si l'on ajoute à l'eau, soit de la saponine, soit du cyanure de potassium, substances qui retardent le développement des protozoaires, on supprime la disparition des bactéries. Jermilow a constaté d'autre part que les flagellés jouaient un rôle actif dans la destruction du bacille typhique dans les eaux courantes (3). Il a vu que ces bacilles typhiques étaient détruits par précipitation, et il en a conclu, tout comme Morton l'a constaté dans les amibes, que ces organismes sécrétaient certaines substances capables d'agglutiner les bactéries. Ces bactéries ainsi agglutinées mouraient et étaient alors détruites par le processus général d'oxydation qui s'accomplit dans toutes les eaux en mouvement ou de surface.

Il faut certainement y ajouter l'action de certaines algues et diato-

1. PHELPS : Etudes sur l'autopurification des rivières. — Public Healths Reports. Vol. 29, 1914, d'après Bulletin de l'Office international d'Hygiène publique, 1915, p. 563.
2. MULLER : Le rôle des protozoaires dans l'autoépuration des eaux au repos. — Archiv. für Hygiène. T. 75, 1912, p. 321.
3. JERMILOW : La vitalité des bacilles typhiques dans l'eau et le rôle des flagellés dans l'épuration des eaux et la destruction de l'infection typhique. — Kharlowsky Meditzinsky-journal, 1912, p. 375.

mées chlorophylliennes dont on constate en particulier la présence en grande quantité dans les filtres à sable et dont le rôle, vu la chlorophylle qu'ils contiennent, varie sur l'épuration et l'oxydation des eaux suivant que règne la lumière du jour ou l'obscurité de la nuit.

Enfin, le plankton des eaux doit certainement jouer aussi son rôle. Marsson a vu (1) que le plankton des cours d'eau peut facilement se rendre maître des pollutions naturelles de ces eaux, c'est-à-dire des eaux d'égoût et des eaux résiduaires, de sorte que l'eau est à nouveau pure à une faible distance de déversement des eaux polluées. Bien entendu, il faut, en cette occurrence, que le volume d'impuretés soit proportionné au volume d'eau qui les reçoit, de manière à être suffisamment dilué.

Nous ne nous étendrons pas longuement sur le rôle de la lumière qui est un puissant agent bactéricide de l'eau. Nous citerons simplement les expériences que Buchner a faites à ce sujet (2).

Buchner conservait la même eau d'une part à l'obscurité ; d'autre part au soleil ; puis, comptait les germes dans l'une et dans l'autre après un temps déterminé. Il constata ainsi que le nombre des germes décroissait très rapidement dans l'eau insolée. Pour compléter son expérience, il ajoutait alors à l'eau ainsi étudiée des matières organiques, et il voyait les germes de l'eau insolée diminuer, tandis qu'ils augmentaient dans l'eau conservée à l'obscurité.

Buchner a montré en outre, en opérant sur les eaux de l'Isar, que la souillure microbienne minima avait lieu pendant le jour. Il a trouvé ainsi dans ces eaux :

A 6 h. 30 du soir	160 colonies par cc.		
A 3 h. 45 du matin	380	—	—
A 5 h.	510	—	—
A 7 h. 15	20	—	—

L'action de la lumière est assez puissante pour détruire même les bacilles de la glace. Mais encore faut-il que celle-ci soit alors bien transparente pour laisser passer cette lumière (3), sinon ceux-ci sont protégés absolument comme les eaux de boisson légèrement troubles (voir plus loin).

1. MARSSON : Influence de la flore et de la faune dans la conservation de la pureté des eaux naturelles et influence qu'exercent sur elles les eaux d'égoût ou résiduaires. — Mitteil. a. d. Koenigl. Prüf. anstalt, J. Wasserversog. u. Abwässersbes. Vol. 14, 1911, p. 1.
2. BUCHNER : Influence de la lumière sur les bactéries. — Centralblatt, f. Bacter. T. 2. 1892, p. 781 et 12, p. 217.
3. DOUDTCHENKO : L'action de la lumière solaire sur la flore bactérienne de la glace de bassins contenant de l'eau stagnante souillée. — Vestnik Obschestvennoi Guiguiény. [1893, p. 1063.

D'après Richardson, la lumière agirait (1) dans les eaux par formation d'un peu d'eau oxygénée, qui nous le savons est un antiseptique puissant. Ce n'est là qu'une pure hypothèse qui n'a d'ailleurs jamais été vérifiée. L'action des rayons ultra-violets de la lumière solaire est bien suffisante à elle seule pour expliquer cette destruction.

Applications industrielles. — L'homme dont le génie dévoile et copie les mystères de la nature, a appliqué l'aération pour l'amélioration et la purification de ses eaux. Ce qui a été fait de plus grandiose à ce sujet, se trouve à New-York dans le nouvel aqueduc de Catskile (qui a lui seul coûté plus d'un million de francs) pourvu de tous les dispositifs tendant à améliorer la qualité de son eau. Un de ces dispositifs tend à son aération, tant pour en obtenir le bon goût et la digestibilité qu'afin d'en obtenir l'oxydation.

Ceci est obtenu au moyen de deux systèmes aérateurs situés l'un près du réservoir de Kensico, l'autre près de celui d'Ashokan (2).

Le plus grand, celui de Kensico, consiste en un bassin de 460 pieds (140 m. de longueur), sur 240 (73 m. de largeur) sur l'étendue la plus grande. Au fond de ce bassin se trouvent aménagées 1.600 bouches d'où l'eau sort sous pression et s'élève en de hautes colonnes de 20 pieds (6 m. 10) environ. On a ainsi une fontaine gigantesque jaillissante, ce qui permet à l'eau d'absorber beaucoup d'air.

Avant de construire le grand aérateur (celui d'Ashokan, en tous points pareil) on a installé et mis en mouvement, à titre d'essai, un plus petit aérateur à Kye, qui a donné du reste d'excellents résultats.

1. RICHARDSON : L'action antiseptique de la lumière par formation d'eau oxygénée. — *Journal of the chem. Society.* T. 63, 1893, p. 1109.

2. Les grands aérateurs d'eau installés près du nouvel aqueduc de New-York. — *Rivista di Ingegneria Sanitaria et di Edilizia Moderna.* T. 11, 1915, p. 155.

CHAPITRE II

PURIFICATION ARTIFICIELLE

Procédés chimiques ou physiques comparables aux procédés naturels.

L'homme, avons-nous dit, copie la nature ; comme elle il distille, il filtre, il aère l'eau pour la purifier. Son génie inventif l'a toutefois poussé dans cette voie à aller plus loin en utilisant un agent d'oxydation encore plus énergique que l'oxygène (nous voulons parler de l'ozone) et une lumière encore plus microbicide que la lumière solaire (nous voulons parler des rayons ultra-violet).

Ozone. — L'emploi de ce gaz fut préconisé pour la première fois en 1891 par MM. Ohlmüller, Siemens et Halske, de Berlin. En 1893, la méthode fut reprise par MM. Tindal, Schneller et Van der Sleen en Hollande. On put même voir à l'exposition d'hygiène à Paris, en 1895, fonctionner un appareil industriel, installé par M. Tindal et permettant de traiter efficacement environ deux mètres cubes d'eau par heure. (Dans cet appareil, l'air ozonisé par son passage dans un appareil construit sur le type de l'ozoneur de Berthelot, barbotait dans l'eau à stériliser.)

Enfin, en 1895, MM. Abraham et Marmier, industrialisèrent le procédé et l'appliquèrent pour la première fois aux eaux de Lille. Actuellement, on obtient la stérilisation de l'eau par l'ozone de la façon suivante :

On retire l'ozone de l'air en soumettant celui-ci dans des appareils spéciaux (ozoniseurs) à l'action de la décharge du courant alternatif à haute tension, entre des surfaces planes ou cylindriques.

Sous l'action de la décharge électrique silencieuse, une partie de l'oxygène de l'air est ozonisée, c'est-à-dire rendue active ; suivant la vitesse avec laquelle l'air traverse les ozoniseurs, on obtient de l'air plus ou moins riche en ozone.

Pour que cet air ozoné puisse servir pratiquement à la stérilisation de l'eau, il faut qu'il ait une concentration suffisante en ozone. Quelques milligrammes d'ozone par mètre cube d'air ne sont pas suffisants. Déjà, à moins de un gramme d'ozone par mètre cube, une atmosphère devient irrespirable, et cette concentration est la limite minima nécessaire pour la stérilisation de l'eau. Pratiquement, il est prudent d'employer pour la

stérilisation de l'eau, de l'air ozoné à des concentrations de plusieurs grammes par mètre cube.

Mais, comme l'obtention de fortes concentrations d'ozone exige beaucoup plus d'énergie que de faibles concentrations, on suit le juste milieu, et on utilise des concentrations variant entre 1 et 3, c'est-à-dire de l'air ozoné renfermant de 1 à 3 grammes d'ozone par mètre cube.

L'air ozonisé ainsi obtenu est refroidi, desséché, puis amené dans les stérilisateurs au contact intime de l'eau disposée elle-même en état de répartition aussi fine que possible.

Il existe plusieurs systèmes de stérilisateurs que l'on peut classer dans une des trois catégories suivantes (1) :

1° L'air ozoné est refoulé sous pression à la base d'un haut cylindre de 8 à 10 mètres de hauteur, plein d'eau (stérilisateurs par barbotage). Pour favoriser la durée du contact de l'ozone et de l'eau, ce cylindre est lui-même muni intérieurement de parois transversales perforées et superposées ;

2° L'eau coule en lame mince au contact d'une atmosphère d'ozone. Ces lames minces se forment par ruissellement sur des matières inertes qui remplissent une tour en maçonnerie (stérilisateurs par ruissellement, encore appelés scrubbers) ;

3° On fait passer en même temps, dans une trompe qui les aspire, l'eau et l'air ozoné. Cette trompe appelée émulseur brasse ensemble l'air ozoné et l'eau. Ce procédé ne saurait suffire à lui seul.

Signalons encore que toutes les usines de stérilisation par l'ozone sont munies de dispositifs automatiques de sûreté qui empêchent que de l'eau non ozonée pénètre dans les conduites de la Ville, au cas où le courant électrique viendrait à s'arrêter ou bien l'air ozoné à faire défaut, et qui font retentir des sonneries électriques.

La stérilisation par l'ozone demande certaines précautions : ce sont les suivantes :

Il faut mettre un excès d'ozone pour être sûr d'assurer la stérilisation de l'eau. Cet ozone en excès est recueilli, desséché (il est utile de dessécher l'air ozoné avant de l'utiliser à nouveau, afin d'éviter une production moindre de produits nitreux aux électrodes, ainsi qu'une meilleure marche des appareils) puis est renvoyé aux ozoneurs qui ont ainsi un travail moindre à fournir.

La stérilisation par l'ozone ne réussit qu'avec des eaux limpides.

1. L. MARMIER : L'ozone ou l'ultra-violet comme agent de stérilisation des eaux potables. — Revue d'hygiène et de police sanitaire, T. 35, 1913, p. 24.

Si l'eau est troublée, elle a beau, à sa sortie des appareils, contenir un excès d'ozone décelable, à l'iodure de potassium ioduré, elle peut être non stérilisée. En effet, les bactéries enrobées de substances solides qui les protègent peuvent continuer à exister dans une eau même fortement chargée d'ozone.

L'air ozoné dissous dans l'eau y disparaît très rapidement, n'y laissant en fin de compte que de l'air et de l'oxygène, c'est-à-dire les éléments gazeux qu'elle renferme naturellement.

La stérilisation de l'eau par l'ozone a été appliquée à certaines villes. On a enfin essayé de l'utiliser, soit aux armées en campagne, soit dans le milieu familial.

Voici le nom de quelques villes stérilisant leurs eaux par l'ozone : Cosne, Nice, Chartres, Armentières, Dinard, Saint-Brieuc, Avranches, Les Sables-d'Olonne, Paris. A l'étranger, Padeborn, Wiesbaden, Berlin, Hermanstadt, Chemnitz, Rovigo, Florence, La Spezzia, Gênes, Braïla, Petrograd.

Pour l'armée, on a essayé, sans succès du reste, un type de chariot portant une dynamo, un moteur à pétrole, et deux ozonateurs dont un de rechange en cas d'accident (1) du type Siemens.

Ces essais furent faits en Allemagne en 1913.

Enfin, pour les milieux familiaux, on a proposé un appareil connu sous le nom d'appareil électro-stérilisateur domestique d'Otto. Cet appareil se branche sur les conduites urbaines, le robinet d'eau servant généralement de commutateur. L'eau aspire l'air ozoné, et le mélange sort à l'orifice du robinet. Cet appareil pourtant, d'après les inventeurs, débite 200 à 250 litres d'eau à l'heure pour une consommation de 50 à 60 watts.

Rayons ultra-violets. — On sait que la lumière du spectre peut se diviser en trois parties :

Une partie visible qui va du rouge au violet.

Une partie infra-rouge, formée de vibrations de longueur d'ondes, supérieures à celles de la lumière rouge.

Une partie ultra-violette, formée de vibrations de longueur d'ondes inférieures à celles de la lumière violette.

Or, si presque toutes les lumières émettent une quantité plus ou moins grande de rayons ultra-violets, on sait depuis les travaux de Kuch et Retchinsky et la communication de Victor Henri à l'Académie des Sciences (14 août 1911) que ce sont les lampes à quartz fondu, à vapeur

1. ERLWEIN : Chariot porteur d'un système de désinfection pour eaux potables destinées aux troupes, *Gesundheit*, 1913, p. 161. T. 36, 1917, p. 161, *fet Wasser und Abwasser*. T. 7, 567.

de mercure, qui donnent, à haute température et pour une même dépense de courant, une lumière très riche en rayons violets.

La quartz fondu a, en effet, la propriété de laisser passer la majorité des radiations ultra-violettes qui se trouvent par contre, facilement arrêtées par le verre.

Ce sont les rayons émis par ces lampes, qui sont employés à la stérilisation de l'eau. Il a été démontré que la stérilisation est due entièrement à l'action directe de ces rayons violets à ondes courtes sur le protoplasma vivant des bactéries (1).

Ces lampes sont utilisées dans deux catégories de stérilisateurs :

1° Les stérilisateurs à température basse, (ou à lampe noyée). Dans ces appareils la lampe est immergée dans l'eau à stériliser et refroidie par elle. C'est le procédé Nogier et Courmont ;

2° Les stérilisateurs à température élevée (ou à lampe non noyée) dans lesquels il existe une distance plus ou moins grande entre la lampe et le récipient où circule l'eau à stériliser. C'est le système Westinghouse.

Les stérilisateurs à lampe noyée dépensent une énergie électrique plus grande. MM. Fabry et Buisson (2) ont, en effet, montré que les lampes noyées ont un rendement en ultra-violet beaucoup plus faible, leur pouvoir abiotique (M. Dastre) est donc plus faible.

La stérilisation par la lumière ultra-violette est parfaite, à condition que l'eau que l'on expose à ses radiations soit excessivement limpide, soit disposée sous une épaisseur faible et de plus subisse pendant son irradiation un brassage assez violent destiné à imprimer aux particules en suspension, s'il s'en trouve par hasard, un mouvement rapide, exposant toutes leurs faces aux radiations bactéricides (3).

Dans ces conditions, tous les germes ou bacilles que peut contenir l'eau sont détruits. Mais, si l'eau est tant soit peu trouble, l'action stérilisante n'existe plus (4-5-6-7-8-9). Tous les auteurs sont d'accord sur ce

1. OKER-BLOM : Le mode d'action de la lumière ultra-violette sur les bactéries. — Zeitschrift für Hygiène und Infektionskrank. T. 74, 1913, p. 197.
2. FABRY ET BUISSON : Sur le rayonnement des lampes à vapeur de mercure. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences. T. 153, 1911, p. 93.
3. DE RECKLINHAUSEN : Résultats obtenus jusqu'à ce jour dans l'application des rayons ultra-violets. — Revue d'hyg. et de police sanitaire. T. 34, 1912, p. 1446.
4. SCHIAVONE ET TREROTOLI : Action des rayons ultra-violets sur le vibron cholérique et le bacille pesteux. — Riforma, medica, 15 mars 1913.
5. GRIMM ET WELDELT : Stérilisation des eaux par la lumière ultra-violette. — Mitt. a. d. Koeniglichen-Prof.-Anst. J. Wasservers und Abwasserbeseit. T. 14, 1911, p. 85.
6. SCHWARZ ET AUMANN : Le stérilisateur d'eau de Nogier-Triquet. — Zeitschrift für Hygiene. T. 73, p. 119.
7. A. MULLER : Sur la stérilisation de l'eau à l'aide des rayons ultra-violets. — Arbeiten a. d. Kais-Gesundheitsamte. T. 43, 1912, P. 475.
8. SCHWARZ ET AUMANN : Weitere Mitteilung, uber die Behandlung von Trinkwasser mit ultra-violetten Strahlen, Zeitschrift für Hygiene. T. 69, 1911, p. 68.
9. SCHROETER : Contribution à l'étude de la stérilisation des eaux potables par les rayons ultra-violets, — Zeitschrift für Hygiene und Infektions, Krankheiten. T. 72, 1912, p. 189.

point. La coloration jaunâtre donnée à l'eau par des colloïdes, comme cela se produit pour l'eau des tourbières, empêche également la stérilisation, même si cette coloration est très faible (1).

Des expériences très précises ont été faites à ce sujet par V. Dzersgovski et S. Dzersgovski sur la phototransparence de l'eau contenant diverses substances en solution par rapport aux rayons ultra-violet (2). Ils se servaient pour cela d'une lampe à mercure en quartz, d'une couche de liquide, toujours la même de 30 centimètres d'épaisseur.

Ils faisaient agir la lampe dans ces conditions sur du papier Lumière au citrate d'argent, pendant une, deux, trois, etc..., secondes. Ils ont ainsi vu que les colloïdes (lait, bouillon, gélatine, gomme arabique, peptone...) diminuent de transparence. Les substances humiques qui polluent souvent les eaux à stériliser sont douées d'un pouvoir, extrêmement énergique, de retenir les rayons ultra-violet.

Schiavone et Trerotoli (3) ont vu à ce sujet qu'il fallait une minute d'exposition dans les conditions habituelles (lampe à mercure fonctionnant sous 75 volts) pour tuer le vibron cholérique dans l'eau physiologique. Mais, si le vibron est en suspension dans des liquides organiques (bouillon, urine, lait, sérum), la stérilisation demande 30 minutes (sérum) à 2 heures (urine, lait, bouillon). Le bacille pesteux résiste de 6 à 10 minutes en suspension saline, 15 minutes dans le bouillon, 1 h. 1/2 dans l'urine, 2 h. 1/2 dans le lait, et plus de 3 heures dans le sérum. (Dans toutes ces expériences, l'épaisseur de la culture était très faible, 1 mm.).

Ces constatations interdisent de considérer l'emploi des rayons ultra-violet comme une méthode pratique de stérilisation des liquides organiques ou colloïdaux.

Tout comme pour la lumière solaire, on a attribué l'action bactéricide des radiations ultra-violettes à la formation d'eau oxygénée (4-5). MM. J. Courmont, Th. Nogier et Rochaix (6) ont fait de nombreuses

1. GRIMM ET WELDELT : Stérilisation des eaux par la lumière ultra-violet. — Mitt. A. d. Koeniglichen-Prof.-Anst. J. Wasservers und Abwasserbeseit. T. 14, 1911, p. 85.
2. V. DZERSZGOWSKI ET S. DZERSZGOWSKI : Contribution à la technique employée pour étudier la phototransparence des eaux potables des solutions salines vis-à-vis des rayons ultra-violet. — Archives des Sciences biologiques de Saint-Petersbourg. 1907, p. 248 ; 1908, p. 25, 95 et 375.
3. SCHIAVONE ET TREROTOLI : Action des rayons ultra-violet sur le vibron cholérique et le bacille pesteux. — Riforma, medica. 15 mars 1913.
4. VAUDREY : La stérilisation des eaux potables par les rayons ultra-violet ; ses dangers. — L'Édilité technique. Avril 1911, p. 93.
5. OKER-BLOM : Le mode d'action de la lumière ultra-violet sur les bactéries. — Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrank. T. 74, 1913, p. 197.
6. COURMONT-NOCIER-ROCHAIX : L'eau stérilisée par les rayons violet contient-elle de l'eau oxygénée. — C.-R. Académie des Sciences. T. 150, 1910, p. 1453.

expériences à ce sujet et ont montré qu'il n'y avait pas lieu de s'arrêter à cette hypothèse.

Un inconvénient de la stérilisation par les rayons ultra-violetes provient, d'après Nogier et Courmont, de ce que leur pouvoir abiotique, lorsqu'ils fonctionnent à haute température, décroît progressivement. D'après le Dr Tanton (1) ce fait est vrai ; toutefois, ce vieillissement des lampes dépend des lampes elles-mêmes et de leur construction.

On a constaté que des lampes qui avaient fourni 7.000 heures de durée ne décelaient pas un affaiblissement bien marqué de pouvoir abiotique.

Quoi qu'il en soit, cette méthode de stérilisation n'est pas encore bien entrée dans la pratique vu sa délicatesse et ses trop nombreux aléas (2). Eau légèrement trouble, arrêt subit du courant.

On a essayé de l'introduire dans le milieu familial ainsi que dans l'armée. Pour les usages domestiques, on a même fabriqué des appareils pouvant assurer un débit de 600 litres par heure. Dans ces appareils, lorsque le courant qui alimente la lampe vient à s'arrêter pour une cause quelconque, une soupape réglée par un solénoïde arrête instantanément l'arrivée de l'eau et actionne en même temps une sonnerie électrique (3).

Ces appareils domestiques sont soit à température élevée, soit à basse température.

Les essais faits dans l'armée, en particulier au Maroc par le Dr Tanton, n'ont pas jusqu'à présent donné de résultats bien pratiques.

La stérilisation des eaux de boisson par l'ozone et les rayons ultra-violetes a été copiée par l'homme sur les procédés qu'emploie la nature (oxygène, lumière). Il en est encore à peu près de même pour les deux nouveaux procédés que nous allons étudier : l'ébullition et la filtration.

Ebullition. — L'ébullition, qui n'est du reste que le premier stade de la distillation, était employée dans l'antiquité.

D'après Hérodote (4), Cyrus, le fondateur de l'empire perse, qui vivait dans le sixième siècle avant Jésus-Christ, ne buvait que de l'eau bouillie.

« Le grand roi, écrivait-il, ne se met point en campagne, qu'il n'ait avec lui beaucoup de vivres et de bétail qu'il tire de son pays. On porte

1. TANTON : La stérilisation par l'eau de boisson en campagne par les rayons ultra-violetes. — *Revue d'hygiène et de police sanitaire*. T. 35, 1913, p. 1.

2. BINDI : Contribution à l'étude de l'épuration biologique des eaux au moyen des rayons ultra-violetes. — *Rivista di Igiene Sanita publica*. T. 26, 1915, p. 4.

3. Stérilisation de l'eau par les rayons ultra-violetes. — *The Engineer*. T. 98, 1914.

4. ŒUVRES d'HÉRODOTE : Livre premier.

aussi à sa suite de l'eau de Choapse (aujourd'hui Kara Su), fleuve qui passe à Suse. Le roi n'en boit pas d'autre. On la renferme dans des vases d'argent après l'avoir fait bouillir, et on la transporte, à la suite de ce prince, sur des chariots à quatre roues traînés par des mulets. »

Les anciens, qui avaient remarqué beaucoup de choses, avaient bien observé que l'eau à l'état de vapeur qui forme les nuages, provient en grande partie de la condensation de l'eau de mer distillée sous l'influence des rayons solaires. Comme ils ignoraient toutefois la pratique de la distillation, ils se procuraient, dit-on, de l'eau douce en mer en suspendant des peaux de mouton au-dessus des flots ! ils les exprimaient ensuite et en retiraient de l'eau douce. Ce serait là l'origine de l'eau distillée à bord des navires.

Mais, nous n'insistons pas davantage sur ce procédé de l'ébullition qui est en somme le plus simple et le plus pratique pour purifier l'eau de boisson. Nous avons vu ailleurs que les Chinois en font usage depuis des temps immémoriaux. Toutefois, nous signalerons le danger que, d'après une critique autorisée, son usage prolongé ferait courir.

Cette critique provient non seulement de la perte des gaz dissous sous l'influence de l'ébullition qui rend les eaux plus lourdes, moins digestibles, mais aussi, et surtout de la décalcification. Il est, en effet, d'observation courante que les dents des individus habitant des régions calcaires sont moins souvent atteintes de carie que celles des habitants des autres régions. On a donc eu l'idée d'attribuer ce fait à l'eau de boisson, et de l'étendre par suite aux individus ne buvant que de l'eau bouillie, c'est-à-dire décalcifiée. Et de fait, comme l'a fait observer le Dr Herpin, dentiste des Quinze-Vingts (1), on a pu parfaitement remarquer quelle était l'influence désastreuse d'une eau d'alimentation bouillie, par suite décalcifiée, sur la résistance des dents à la carie.

Le Dr Herpin, pour appuyer sa thèse, fait remarquer que Röse s'est livré en ces dernières années en Allemagne à des recherches portant sur un nombre considérable d'individus vivant dans des régions variées et dont les eaux d'alimentation furent soigneusement contrôlées au point de vue de leur teneur en sels de chaux. Les recherches de Röse portèrent sur 164 localités, villages, bourgades, villes, où il examina la bouche de 87.617 enfants des écoles.

Ces recherches lui permettent d'établir nettement la relation étroite qui existe entre la richesse en sels de chaux des eaux d'alimentation et

1. HERPIN : Eaux d'alimentation et carie dentaire. — Journal de Médecine de Paris (2^e série).
T. 23, 1911, p. 571.

la fréquence de la carie dentaire. D'où par suite la nocivité d'emploi de l'eau bouillie parfaitement démontrée, bien que d'une manière indirecte par ce savant.

Comme tous les autres procédés, la stérilisation de l'eau par ébullition a été employée pour les grosses agglomérations, pour les milieux familiaux, pour le service des troupes en campagne.

Dans le milieu familial ou pour les agglomérations (hôpitaux, écoles, etc...) on emploie divers appareils. Tous sont basés sur le même procédé. L'eau est portée à 100° à 150° (stérilisation sous pression). Tous ces procédés possèdent un système échangeur, récupérateur, grâce auquel l'eau à stériliser s'échauffe au moyen de l'eau déjà stérilisée qui, par ce fait même, sort de l'appareil refroidie.

Dans les appareils sous pression, on évite non seulement la perte de l'eau par évaporation, mais aussi la déperdition de l'air et des sels dissous. Un appareil de ce genre a été adopté par l'armée anglaise depuis 1901, et donne d'assez bons résultats (1).

Filtration. — Nous allons maintenant nous occuper de la filtration, car ce procédé est employé dans le monde entier pour l'épuration des eaux des fleuves, sources, rivières, destinées aux villes, et qu'il n'est pas de question qui ait donné lieu à autant de discussions sans qu'un résultat bien net s'en soit jamais suivi. Nous montrerons que ce procédé appliqué dans le milieu familial ou pour les petites collectivités n'a pas donné de meilleurs résultats. Nous irons même plus loin en signalant ses dangers.

L'idée d'épurer les eaux de boisson par filtration copiée sur la nature, c'est-à-dire par filtration sur le sable, a été pour la première fois introduite en Angleterre, il y a bientôt un siècle. Quoique son usage se soit généralisé grâce aux bons résultats obtenus au point de vue de la clarification de l'eau, ce procédé resta dans la forme originale très simple pendant plus de cinquante ans sans subir aucune modification de principe. En effet, à cette époque, et jusqu'à ce qu'aient été entreprises les recherches bactériologiques, le seul objet et le seul index de l'épuration de l'eau était la rétention mécanique des impuretés solides.

Les filtres à sable actuellement employés pour l'épuration des eaux de boisson des villes, grosses agglomérations et collectivités diverses se divisent en deux grandes catégories : 1° les filtres à sable non submergé ; 2° les filtres à sable submergé encore appelés filtres à sable noyé.

Filtres à sable submergé. — Nous commencerons par étudier ceux-ci,

1. PAGLIANI ET BERTARELLI : Studio critico sull apparecchio « Automatic Water Sterilizer », par la sterilizzazione dell'acqua ad alta temperatura sotto pressione. — L'Ingegneria igienista. T. 2, 1901, p. 133 et 148.

car ce sont les plus anciens et ceux qui furent utilisés jusqu'à la fin du siècle dernier. Ces filtres sont habituellement formés par des bassins étanches de deux mètres environ de profondeur et d'une superficie variable. Au fond de ces bassins, se trouve une couche de sable d'une hauteur moyenne de 0 m. 90, supportée elle-même par du gravier, des cailloux, puis des briques superposées formant support et permettant l'écoulement de l'eau.

Au-dessus du sable se trouve constamment une couche d'eau en train de filtrer d'une épaisseur variant entre 0 m. 90 et 1 m. 50, suivant que l'on veut par suite de la pression ou charge, une vitesse d'écoulement plus ou moins grande. Disons tout de suite que plus le débit est lent, plus la filtration est meilleure. C'est ainsi qu'à Paris, la vitesse généralement admise n'est que de 10 centimètres de hauteur par heure, soit 2 m. 40 par jour. Cette vitesse est encore trop grande, et, d'après le Dr Rieux (1), pourrait être abaissée à moins de 2 mètres par 24 heures ; à Hambourg la vitesse n'est que de 1 m. 50 pour le même laps de temps.

Comme on le voit, le sable du filtre est constamment recouvert d'eau, c'est-à-dire submergé ou noyé, d'où son nom.

Les recherches de Piefke à Berlin, entre 1881 et 1890, ont jeté un jour nouveau sur le mode de fonctionnement de ces filtres. Jusque-là on avait cru que la filtration était due à une simple rétention mécanique par le sable des impuretés de l'eau. Il n'en est rien. Il se forme peu à peu à la surface du sable, tant par la sédimentation des substances organiques en suspension dans l'eau brute que par suite du développement des bactéries et des algues, une couche gluante dans laquelle réside le principal pouvoir d'épuration du filtre. Cette couche filtrante formée de substances colloïdales et glaireuses est en sorte le véritable filtre, vraie membrane filtrante (Schalammdecke des auteurs allemands) dont le sable n'est que le support. La formation de cette couche, et surtout son maintien à l'état intact est la condition *sine qua non* de l'efficacité du filtre. Tant qu'elle ne s'est pas formée, le filtre n'est pas bon à être effectivement utilisé, on dit qu'il n'est pas mûr (2).

Malheureusement, par suite de l'apport incessant des matériaux dont l'eau est polluée, la couche filtrante finit par s'obstruer, se colmater. Il faut dès lors gratter la surface du sable, de façon à enlever le dépôt et attendre la formation d'une nouvelle couche filtrante de maturité voulue.

1. RIEUX : Filtres à sable submergé et non submergé. — Annales d'hygiène publique, 2^e semestre (4^e série). T. 18, 1912, p. 306.

2. GOTSCHLICH : La filtration des eaux potables à Alexandrie. -- Bulletin de l'Office international d'hygiène publique. T. 5, 1913, p. 406.

Cette opération se fait toutes les cinq à dix semaines, suivant l'état de louches des eaux à traiter. Le filtre passe en somme par de vraies périodes de jeunesse, de maturité et de vieillissement.

La membrane filtrante est assez délicate et son intégrité est chose essentielle pour la bonne marche du filtre. Il ne faut donc pas qu'il se forme de vagues à la surface de l'eau, vagues qui disloquent et rompent la membrane filtrante. Il ne faut pas le moindre à-coup, la moindre variation de pression d'eau : de là la nécessité d'appareils automatiques qui règlent la constance du débit. D'une manière générale, la hauteur de la colonne d'eau ne doit pas déterminer une charge trop forte ni par suite un écoulement trop rapide. Les expériences faites ont montré en effet que le nombre de bactéries trouvées dans l'affluent augmente en général comme le carré de la vitesse de filtration (1).

Filtres rapides, filtres américains. — Certaines eaux comme celles du Nil, ou des fleuves des Etats-Unis contiennent de l'argile en suspension tellement fine qu'on ne peut les filtrer au sable. Elles passent toujours troubles.

Pour filtrer de telles eaux, les Américains ont imaginé de créer des couches filtrantes artificielles à la surface du sable des filtres submergés. Pour cela, ils emploient soit le permanganate de potasse, soit l'alun.

En traitant ces eaux par du permanganate de potasse à la dose de 1 à 2 grammes par mètre cube d'eau, il se forme, par décomposition des matières organiques, de l'oxyde de manganèse, corps éminemment insoluble qui tend à se sédimenter et qui retient avec lui toutes les autres substances.

En les traitant par l'alun, ce sel se décompose au contact des carbonates de chaux toujours dissous dans l'eau, et il se forme un volumineux précipité d'hydrate d'oxyde d'alumine très résistant à la surface du sable.

Si on emploie une dose élevée de sulfate d'alumine (13 à 30 grammes par mètre cube d'eau) cette couche filtrante est tellement solide qu'elle permet même une filtration 40 à 50 fois plus grande. Ceci permet en plus de réduire la surface du filtre, de réaliser des économies de terrain et de première installation, et également, chose importante, de réunir tout le mécanisme du filtre dans un seul appareil, permettant un maniement ou un nettoyage par des moyens purement mécaniques, sans contact des filtres avec l'homme, contact toujours dangereux, au point de vue de

1. H. RESH : Filtrage de l'eau dans ses rapports avec les distributions publiques. — Manchester, Arch. publ. Health. Lab. univ. Manchester. T. 1, 1906, p. 193.

la pollution par les porteurs de microbes. Tels sont les avantages des filtres américains encore appelés filtres rapides ou filtres mécaniques.

Filtres à sable non submergé. — Dans ces filtres, le sable n'est jamais recouvert d'eau ; il est simplement arrosé.

L'eau qui est amenée à la surface du sable est bue instantanément et gagne les parties inférieures sous la seule action de la pesanteur ; puis elle s'écoule sans pression.

Pour cela, la répartition de l'eau à la surface du sable se fait par un système de tubes en métal perforés ou par des appareils d'arrosage en pluie. Bien entendu, dans ces conditions, il n'y a plus de pellicule biologique, et la théorie de l'épuration consiste dans l'action des forces capillaires et attractives des corpuscules tant minéraux qu'organiques vis-à-vis des grains de sable de la couche filtrante.

Ces filtres présentent l'avantage de pouvoir fonctionner avec de faibles comme de forts débits, de pouvoir être arrêtés et remis en marche quand on veut, sans maturation préalable, et de ne réclamer un nettoyage de la couche artificielle du sable que tous les dix mois environ, si l'eau qu'on y dirige est déjà assez limpide et clarifiée au préalable par des filtres dégrossisseurs (1).

Ces filtres sont de date récente, imaginés par Janet. Ils ont été appliqués en 1905 par Miquel et Mouchet, et depuis lors, ils ont pris une grande extension pour l'alimentation en eau potable des moyennes collectivités.

Ils se composent, comme les précédents, de cuves de dimensions variables, à parois imperméables, contenant une épaisseur moyenne de 1 m. 20 de sable, disposé lui-même sur ses éléments de soutien, briques et graviers.

Le sable de ces filtres ne doit pas être à grains trop fins, sinon, malgré la non-submersion de la surface, le volume d'eau retenu par la masse filtrante serait trop considérable et tendrait à transformer ces filtres non noyés en filtres submergés.

Les filtres non submergés sont, aussi bien dans leur construction que dans leur fonctionnement, plus simples que les filtres noyés. Il n'y est plus question de hauteur de l'eau au-dessus du filtre ni de charge. Tous les accessoires d'ordre technique qui règlent l'adduction de l'eau brute, comme la sortie de l'eau épurée sont, par ce fait simplifiés.

En outre, l'épuration est plus parfaite ; le bacille coli, fréquent dans l'eau du filtre noyé, est par contre excessivement rare dans le filtre non submergé.

1. MIQUEL ET MOUCHET : Sur les filtres à sable non submergé. — Revue scientifique (5^e série).
T. 7, 1907, p. 33 et 68.

La conclusion a été parfaitement établie par M. F.-H. Renaut dans les lignes suivantes :

« Si les contrôles ultérieurs », écrit-il, « confirment les résultats actuels, on peut espérer que le filtre non noyé est appelé à jouer un grand rôle dans l'épuration des eaux destinées à l'alimentation des collectivités grandes et petites ; mais il serait tout au moins prématuré d'affirmer davantage. Il y a lieu cependant de donner la préférence pour les installations nouvelles aux filtres à sable non submergé. Certes, ils ne constituent pas une barrière infranchissable aux maladies transmissibles par l'eau de boisson, ils ne stérilisent pas l'eau ; mais, peut-être l'épurent-ils d'une façon plus complète que ne l'ont fait jusqu'ici les filtres à sable submergé. »

Il ne faut pas, en effet, s'illusionner sur l'épuration microbienne des filtres à sable, car il suffit de quelques bacilles d'Eberth présents dans une eau filtrée pour déterminer par leur multiplication de dangereuses épidémies de fièvre typhoïde. Qu'importe dans ces conditions le pourcentage de l'épuration microbienne (1). Cela remet à l'esprit la spirituelle boutade du regretté professeur Brouardel :

« La statistique des microbes », disait-il, « ressemble à celle qui accuserait dans une forêt mille animaux sans spécifier les espèces. Que ce soit mille lapins, cela ne nous inquiète guère, mais qu'il y ait sur ces mille lapins un seul tigre, et la question change de face. »

Il en est de même de l'épuration des eaux de boisson par les filtres à sable et en cela l'homme n'a pas pu faire mieux que la nature.

La ville de Marseille, alimentée par les eaux de la Durance, n'a à sa disposition que des eaux limoneuses, troubles et excessivement polluées. Aussi, depuis fort longtemps, est-il d'usage dans toutes les familles de filtrer l'eau de boisson sur des filtres de ménage à sable. Nous n'insisterons pas sur les dangers que ces filtres à couche peu épaisse, mal entretenus, font courir à la population. Ce sont de vrais réceptacles à bactéries, et les terribles épidémies de choléra qui ravagèrent cette malheureuse cité en 1884 et 1885, sont là pour le prouver.

Cela nous amène naturellement à dire quelques mots des matériaux divers qui ont été employés pour assurer la filtration de l'eau de boisson dans les familles et les petites collectivités. Disons tout de suite qu'aucune de ces substances ne vaut grand'chose ; alors même que les germes soient arrêtés au début, ils ne tardent pas, après un temps plus ou moins long,

1. BERTARELLI : La teneur minima en bactéries et l'appréciation de la potabilité des eaux filtrées. — *Rivista di Ingegneria Sanitaria e di Edilizia Moderna*. T. 11, 1915, p. 187.

à passer de l'autre côté de la substance filtrante, et l'effet cherché devient nul.

On a ainsi employé le charbon en poudre, le charbon silicaté, le charbon manganésé, la cellulose, l'amiante, le mélange amiante et charbon, l'éponge de fer, le mélange de charbon et pierre ponce, le mélange charbon et porcelaine, la pierre à filtrer (sorte de pierre naturelle contenant 41 billions de particules granuleuses par pouce cube). C'est la base du filtre de Duff. Enfin, on utilise avec plus de succès la porcelaine dégourdie (filtres Chamberland, système Pasteur), la porcelaine d'amiante (aéro filtre Maillé), le Kieselguhr ou terre d'infusoires. On sait depuis Elhremberg que le sol abandonné par les anciens golfes de la mer du Nord est formé de débris d'infusoires, principalement de cuirasses de Diatomées. Or, on avait remarqué que, dans la lande de Lunebourg, l'eau qui sort des couches de ce sol était d'un bleu pur, tandis que celle des marais voisins était jaune. C'est ce qui donna l'idée à M. W. Berkefeld de Celle, de construire avec cette terre siliceuse cuite des filtres pour les usages domestiques (1).

Ces derniers filtres sont excellents, et il n'y a pas de doute que l'eau qui en sort les premiers jours ne soit parfaitement stérile. Mais peu à peu les microbes qui étaient retenus par capillarité dans les pores des filtres, cheminent, les traversent et les filtres deviennent alors de vrais dangers de contamination.

Il y a également toujours à craindre le danger d'une fissure dans la matière du filtre, auquel cas, son effet stérilisant est immédiatement nul.

Nous renvoyons le lecteur aux mémoires et publications concernant ces divers filtres. L'analyse de ces ouvrages demanderait, à elle seule, un travail des plus importants et ce serait bien chose inutile, car, à notre avis, il y a mieux que la filtration par ces appareils pour la stérilisation des eaux de boisson.

1. NORDMEYER : Sur la filtration au moyen de filtres en terre d'infusoires. — Breslau,

CHAPITRE III

PURIFICATION ARTIFICIELLE

A. — Stérilisation par les Procédés chimiques.

Nous avons, dans les chapitres qui précèdent, passé peu à peu en revue divers procédés d'épuration des eaux. Nous avons vu ainsi quels étaient les procédés biologiques employés par la nature elle-même à l'aide de l'oxygène de l'air ou des infiniment petits.

Nous avons examiné la filtration parmi les procédés mécaniques, et vu quels étaient ses dangers. Parmi les procédés physiques, nous avons cité la distillation, l'ébullition, l'action des rayons ultra-violets.

Parmi les procédés chimiques, nous avons insisté longuement sur les défauts de la stérilisation par l'ozone. Il nous reste maintenant à examiner ceux qui, à notre avis, sont les meilleurs lorsqu'ils sont bien compris, ceux qui assurent d'une manière complète et parfaite la purification des eaux de boisson. Nous voulons parler des procédés chimiques.

Comme le dit le professeur Gaillard, du Val-de-Grâce (1), il n'existe en réalité que deux grandes catégories de méthodes parmi les méthodes chimiques d'épuration des eaux de boisson :

- 1^o Les méthodes basées sur l'emploi des halogènes ;
- 2^o Les méthodes basées sur l'emploi des permanganates.

Mais, notre travail ne serait pas complet si nous n'examinions pas auparavant tous les autres procédés qui ont été employés et qui sont encore souvent employés par l'homme dans beaucoup de circonstances : ceci, afin de montrer leurs quelques avantages, leurs gros inconvénients et à mettre en garde le public contre leur emploi.

L'étude de ces méthodes est également instructive car elle montrera par quels tâtonnements on est passé avant d'arriver aux seules méthodes rationnelles d'épuration des eaux, qui existent.

Nous avons vu qu'il existe dans la nature et en particulier en Allemagne certaines eaux très riches en hydrate d'oxyde de fer soluble. Nous avons montré qu'on se débarrassait de ce fer par oxydation en faisant couler ces eaux sur des colonnes de coke fortement ventilées qui précipitaient le fer à l'état d'oxyde insoluble, puis par filtration pour séparer

1. GAILLARD : Epuration des eaux de boisson en campagne. — Revue scientifique, T. 54 (1) 1916, p. 165.

ce dernier. Dans le procédé Anderson qui est un très vieux procédé industriel, on imite en tous points la nature. On commence par rendre les eaux que l'on veut purifier très ferrugineuses en les turbinant avec des rognures de fer. Ceci fait, on aère fortement cette eau pour précipiter le fer solubilisé, on décante le dépôt et on filtre sur sable.

En somme, on opère un vrai collage de l'eau avec l'oxyde de fer, suivi d'une filtration. Mais ce n'est pas là un procédé idéal. D'après Malmejac, « ce procédé donne des résultats un peu supérieurs à ceux du filtre à sable ordinaire, mais il ne stérilise pas l'eau. L'épuration de l'eau reste partielle, bien que, par ce procédé, une grosse partie des matières organiques soit détruite ».

Procédés à la polarite et à la carboferrite. — La polarite et la carboferrite sont des substances poreuses obtenues par la calcination du carbonate de fer naturel. Voici la composition de la polarite :

Sesquioxyde de fer	53,93
Oxyde de fer magnétique	19,19
Protoxyde de fer	7,25
Chaux	1,23
Silice	15,16
Carbone	1,80
Eau	1,44

Comme on le voit, il y a une forte proportion d'oxyde de fer naturel. Ces substances servent à l'épuration des eaux par simple filtration, réalisant ainsi, vu leur porosité et, par suite, l'accès constant de l'air dans leur masse, la technique complète du procédé précédent ; dissolution d'hydrates d'oxydes de fer, oxydation complète de ces hydrates et précipitation, filtration.

Ce procédé ne vaut pas plus que le procédé Anderson. Certaines villes l'emploient cependant actuellement, la ville de Cromer, aux Etats-Unis, par exemple (1).

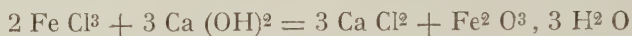
Procédé MANGET. — Le pharmacien principal de la guerre, Manget, a préconisé un procédé assez pratique qui peut encore se rapprocher des deux procédés précédents.

Voici sa technique pour un litre d'eau : On ajoute six gouttes de perchlorure de fer, quelques minutes après, on verse 3^{cc}.3 d'une solution saturée de bicarbonate de soude. Il se forme ainsi un précipité gélatineux de peroxyde de fer qu'on élimine par décantation ou filtration. Cette

1. The Surveyor. T. 45, 1914, p. 361.

méthode imparfaite enlève à l'eau quelques impuretés, et un grand nombre de bactéries, mais ne la stérilise pas.

Le procédé Manget, légèrement modifié, a été appliqué par Gaillet et Huet à l'épuration des eaux résiduaires des sucreries (1). Le procédé Gaillet et Huet consiste à additionner les eaux à épurer d'une solution de perchlorure de fer ; après mélange intime, on y fait couler un lait de chaux, on a la réaction suivante :



Le précipité de fer englobe les matières en suspension ; la masse d'eau surnageante se trouve de ce fait purifiée.

Alunage. — Dans l'alunage des eaux, on utilise la propriété qu'a l'alun de former soit un précipité, soit des laques insolubles avec les matières organiques, les impuretés, les carbonates solubles des eaux. Ce procédé est employé en Chine, de temps immémorial, pour les eaux troubles et limoneuses. Les Chinois opèrent en promenant un cristal d'alun fixé à l'extrémité d'une tige de bambou à l'intérieur de l'eau à purifier. Ceci fait, on laisse déposer ou on filtre. Ici, comme avec les procédés précédents au fer, il se forme un vrai collage à l'alumine.

De Chine, l'alunage des eaux a envahi notre civilisation européenne et surtout la civilisation nord-américaine. Les Américains dont les eaux sont, nous l'avons vu, très mauvaises, commencent par aluner leurs eaux avant de filtrer au sable. Il en est de même des eaux qui alimentent les villes de l'Inde anglaise ou de la ville de Saint-Louis, au Sénégal.

Les doses d'alun à employer sont assez faibles. Elles varient de 1 pour 25.000 à 1 pour 50.000.

Procédé BABÈS. — Dans ce procédé on rend la purification extrêmement rapide en ajoutant à l'eau 0 gr. 10 à 0 gr. 25 d'alun par litre que l'on élimine par addition d'une quantité équivalente de carbonate de soude. Dans cette réaction, il se fait un vrai collage de l'eau par précipitation d'hydrate d'alumine.

M. Babès a fait à ce sujet de nombreuses expériences à Varsovie et est arrivé à cette conclusion que les bactéries n'étaient pas tuées, mais simplement entraînées avec le dépôt au fond. Il vit en opérant sur les eaux de la Vistule, qui contiennent 3.000 bactéries par centimètre cube, que ces eaux n'en contenaient plus que seize après application de son procédé.

1. URBAIN BERTHOLET : Procédés d'épuration résiduaires des sucreries. — Bull. de l'Off. intern. d'hyg. publ. T. 6, 1914, p. 651.

Reste à savoir si ces seize bactéries n'étaient pas seize bactéries dangereuses ! C'est ce que M. Babès n'a pas fait connaître, et c'eût été cependant le plus intéressant.

Stérilisation par la chaux. — Il y aurait longuement à écrire sur l'action stérilisante de la chaux dans les eaux. MM. Charles P. Hoover et Russell D. Scott (1) ont fait à ce sujet une étude excessivement complète à laquelle nous ferons d'ailleurs de larges emprunts.

L'action de la chaux fut découverte en 1888 par Allen Hazen, ingénieur chimiste américain. Ce savant, ajoutant de la chaux à de l'eau brute d'égout, constata une diminution progressive des bactéries, à mesure qu'il augmentait la quantité de chaux.

Plus tard, A.-C. Houston, chimiste du Metropolitan Water Board de Londres, constata que cette action stérilisante se portait surtout sur le bacille du côlon et le bacille d'Eberth. Il vit que ce fait était dû non pas aux effets toxiques de la chaux, mais à ce que les bactéries ont besoin pour se développer du CO_2 libre ou à demi combiné, que neutralise la chaux qu'on y ajoute. Ce fait peut être démontré d'une manière très curieuse.

De l'eau de puits, riche en CO_2 , est divisée en deux parties. L'une de ces parties est bouillie de façon à chasser tout le gaz carbonique, puis refroidie avec soin pour empêcher toute absorption du CO_2 de l'air. L'autre n'est pas bouillie. Chacune de ces deux parties est alorsensemencée des bacilles de la typhoïde et du côlon. On ne tarde pas à constater que ces microorganismes vivent dans l'eau contenant l'acide carbonique, mais meurent dans l'autre eau privée de ce gaz.

La destruction des bactéries intestinales par la chaux qui absorbe le CO_2 est donc importante et mérite d'être retenue (2).

La chaux a également pour avantage de diminuer la dureté temporaire des eaux (attaque des tuyaux de plomb) et de précipiter le magnésium de celles qui en contiennent de fortes quantités (3).

Bien entendu, pour employer utilement la chaux, il faut en ajouter juste ce qu'il faut pour absorber le CO_2 libre ou à demi-combiné, et précipiter le magnésium. On s'en rend compte par l'alcalinité de l'eau révélée par la phénolphthaleïne. Si cette alcalinité est plus de la moitié de l'alcali-

1. HOOPER ET SCOTT : Emploi de la chaux pour la purification de l'eau. — Engineering News. T. 72, 1914, p. 586.
2. TRILLAT ET FOUASSIER : Influence des gaz dissous sur la vitalité des microbes. — C. R. de l'Académie des Sciences. T. 154, 1912, p. 786.
3. RIDEAL : La stérilisation de l'eau par l'excès de chaux. — The Surveyor. T. 44, 1913, p. 627, ou Wasser und Abwasser, 1912, p. 89.

nité totale, c'est qu'on a ajouté trop de chaux et l'eau possède alors une alcalinité caustique ; au contraire, si elle est inférieure à la moitié de l'alcalinité totale, c'est qu'on n'a pas ajouté assez de chaux et l'eau possède alors une alcalinité bicarbonatée.

L'eau parfaitement adoucie par la chaux ne doit donc révéler ni alcalinité caustique ni alcalinité bicarbonatée.

On s'en rend compte en prenant l'alcalinité de l'eau à la phénolphtaléine, puis à l'érythrosine ou au méthyl-orange, dont les réactions sont différentes en présence des bicarbonates, des carbonates neutres et des hydrates.

C'est ainsi, par exemple, que pour les quatre échantillons, en supposant que l'alcalinité au méthyl-orange ou à l'érythrosine soit 44 dans chaque échantillon.

Echantillons.	-Si l'alcalinité à la Phénolphtaline est de	L'analyse donnera alors :		
		Bi-carbonates	Carbonates neutres.	Eau de chaux en causticité.
—	—	—	—	—
1	0	44	0	0
2	20	4	40	0
3	22	0	44	0
4	24	0	40	4

L'échantillon n° 1 ne contient pas de chaux, le n° 2 en contient trop peu, le n° 3 en contient ce qu'il faut, le n° 4 en contient trop.

Emploi de l'anticalcaire de BURLUREAUX. — Ce produit est excessivement intéressant. D'abord parce qu'il stérilise l'eau, ensuite parce que nous retrouverons son application lorsque nous examinerons l'épuration des eaux de boisson par les permanganates.

L'emploi de l'anticalcaire fut préconisé en 1892 par Burlureaux dans un mémoire paru dans les archives de *Médecine expérimentale* (1). Sa formule était la suivante :

Poudre de chaux vive.....	9 parties	{	Pour les eaux contenant plus de sulfate que de bi- carbonate de chaux.
« carbonate de soude..	6 »		
« d'alun	1 »		

1. BURLUREAUX : Epuration de l'eau de boisson. — Archives de médecine expérimentale. T. 4, 1892, p. 581.

Poudre de chaux vive.....	9 parties	} Pour les eaux contenant plus de bicarbonate que de sulfate de chaux.
« carbonate de soude..	9 »	
« d'alun.....	4 »	

La dose la plus favorable, dit l'auteur dans son mémoire, c'est 1 centigramme 1/2 pour chaque degré hydrotimétrique et par litre. Mais, ajoute-t-il, dans la pratique domestique, lorsque l'on n'a pas les moyens de trouver le titre de l'eau, on peut procéder de la façon suivante : Dans un broc de dix litres contenant l'eau à traiter, on ajoute trois grammes de poudre alcaline, anticalcaire, on agite et l'on goûte ; si l'eau n'a pas une saveur alcaline, on ajoute un autre gramme et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'eau ait une saveur alcaline. En restant quelque peu au-dessous du chiffre ainsi trouvé, on aura obtenu la dose.

Dans cette poudre, nous trouvons :

1^o De la chaux, qui, nous l'avons déjà vu, stérilise l'eau des germes intestinaux et qui, de plus, saturant le CO² demi-combiné des bicarbonates, les précipite à l'état de carbonates insolubles, d'où adoucissement de l'eau ;

2^o Le mélange alun-carbonate de soude dont nous avons déjà parlé comme stérilisant.

Les expériences faites par l'auteur ont d'ailleurs confirmé cette action stérilisante. D'après lui, avec un gramme et même 0,60 d'anticalcaire par litre d'eau de la Vanne, on tuait à coup sûr tous les microbes, même ceux que l'on avait surajoutés à l'eau ; traitée par un gramme d'anticalcaire par litre, l'eau des drains de Gennevilliers se montrait presque stérilisée. Malheureusement, ces expériences n'ont été faites que par l'auteur.

Stérilisation par les acides. — On sait depuis longtemps que les microbes sont sensibles à l'action des acides. C'est ainsi que, d'après Stutzer, 0,05 0/0 d'acide sulfurique suffiraient pour détruire le vibrion du choléra en quinze minutes, et 0,02 0/0 en vingt-quatre heures.

Ivanoff a trouvé que l'addition de 0,08 0/0 du même acide ajouté à l'eau d'égout de Berlin, faisait disparaître le vibrion cholérique.

Kitasato a aussi détruit le bacille typhique en quinze minutes avec la même dose de cet acide. Enfin, Koch a signalé la prompt destruction du bacille cholérique dans les solutions très étendues d'acide chlorhydrique, comme aussi en présence du suc gastrique.

Malheureusement, bien que faibles en théorie, ces doses d'acides sont encore trop élevées pour être utilisées dans la pratique. Aussi a-t-on essayé d'employer des acides plus faibles, sans grand succès d'ailleurs.

C'est ainsi que M. Christmas a constaté qu'une goutte de culture de germes cholériques, au bout de quinze minutes de contact avec une solution d'acide citrique, à 6 ou 8 pour 10.000 était incapable d'ensemencer un milieu de culture; le même effet était obtenu avec le bacille typhique.

M. Christmas en arrive dès lors à conseiller l'emploi comme boisson de la vulgaire limonade citrique à 1 gramme d'acide par litre (nous avons vu ses effets déplorables sur nos troupes en Chine dans un des premiers chapitres de ce travail) et l'adjonction d'acide citrique dans toutes les eaux pour la toilette, les soins du ménage, etc. (1).

Pour notre part, nous préférons tout autant l'emploi d'acide lactique, cher à feu Metchnikoff pour son eau de boisson, et son antiseptie intestinale. Ou même l'addition à l'eau de quelques gouttes de vinaigre procédé employé depuis la plus haute antiquité.

C'est d'ailleurs à l'action des acides, et non pas de leur alcool que les vins ou la bière seraient des bactéricides par rapport à l'eau de boisson. On peut en séparer l'alcool par distillation. La liqueur restante est tout aussi bactéricide que le vin lui-même (2).

Ce sont dans ce cas les acides acétique, tartrique, citrique du vin qui agissent et non pas ses acides tanniques (œnotanniques). Le tannin agit peu, d'où le rôle nul du café ou du thé comme stérilisant des eaux de boisson.

Stérilisation par les métaux. — Nous savons que Raulin ne pouvait faire pousser les cultures d'*Aspergillus Niger* dans des récipients en argent. Déjà bien avant Raulin, le roi Cyrus (dont nous avons déjà parlé) se servait de vases d'argent pour conserver son eau stérilisée par ébullition. Moins riches que ce monarque, les modernes utilisent le cuivre pour la destruction des germes des eaux.

A. Sheridan Delépine et A. Greenwood (3) ont, en effet, montré que tandis que le séjour dans les tuyaux de plomb paraît n'exercer aucune action sur la vitalité des bactéries; celles-ci, au contraire, sont rapidement détruites dans des tuyaux de cuivre. Au bout d'une demi-heure de séjour dans ces tuyaux, la stérilisation est complète ou presque.

L'action du cuivre a surtout été mise en pratique en Amérique pour la destruction des algues ou des protozoaires qui peuplent les étangs et

1. CHRISTMAS : De l'acide citrique comme moyen de stérilisation de l'eau pendant les épidémies de choléra. — Médecine moderne, 1892, p. 577 et le Mercredi médical. 1892, p. 487.
2. ALOIS PICK : Action du vin, de la bière et de quelques acides organiques sur les bacilles du choléra et du typhus abdominal. — Archiv. für Hygiene. T. 19, 1893, p. 51.
3. SHERIDAN DELÉPINE ET GREENWOOD : L'action de quelques métaux sur certaines eaux : The Journ. of the Royal San. Inst. T. 35, 1914-15, p. 317.

qui donnent aux eaux une odeur spéciale grâce aux globules d'huiles essentielles qu'ils contiennent dans leurs tissus. On y arrive en disposant de simples feuilles de cuivre bien propres soit dans les étangs, soit mieux à l'entrée des réservoirs où on reçoit l'eau de ces étangs pour la livrer ensuite à la consommation. Il n'en résulte aucun danger pour la santé publique (1).

Stérilisation par le sulfate de cuivre. — On remplace avantageusement le cuivre par le sulfate de cuivre, en particulier en Angleterre pour les eaux à algues puantes de Gloucester ou en Amérique pour la stérilisation des piscines. Le sulfate de cuivre pour ce dernier usage a été même reconnu bien supérieur à l'hypochlorite de chaux dont on faisait autrefois usage pour le même but.

C'est ainsi que la substitution du sulfate de cuivre à l'hypochlorite de chaux vient d'être faite l'année dernière (1915) pour l'immense piscine du Gymnase de l'Université de South Bethlehem (Pensylvanie) par S.-T. Thomas, qui résume ainsi les avantages obtenus : « Le sulfate de cuivre est plus directement efficace, il ne sent pas mauvais, il est peu coûteux, il n'est pas irritant pour les yeux ou les muqueuses, comme le chlorure de chaux (2-3). »

Stérilisation par le fluorure d'argent. — Ce sel a été lancé en Italie par le professeur Paterno et à sa suite par les savants italiens Cingolani, Inghillerie, etc., pour la purification des eaux de boisson (4). On s'en sert à la dose de 1 à 4 pour 500.000 et à cette dose, d'après Paterno et Cingolani, on aurait une stérilisation à peu près complète des eaux de boisson. Pour faire accepter le produit au public, Paterno lui donna le nom assez bizarre de « Tacchiolo » et on en fit même usage pour la campagne anti-cholérique en Italie de 1910-1911 (5).

Hélas ! ce fameux Tacchiolo soumis à l'investigation sévère d'autres savants s'est lamentablement effondré. C'est ainsi que le Dr Tonello a vu que, s'il détruisait un grand nombre de saprophytes vivant dans les eaux, il n'avait qu'une action très insuffisante sur le bacille d'Eberth et

1. IMBEAUX : Sur un moyen de détruire les algues et certaines bactéries pathogènes et d'en empêcher la pullulation dans les eaux potables (d'après une brochure du Département de l'Agriculture des Etats-Unis). — La Technologie sanitaire, 15 avril 1905, p. 277.
2. La désinfection pratique des piscines. — The Journal of the American Medical Association. T. 65, 1915, p. 176.
3. KELLERMANN : Emploi rationnel des désinfectants et alguicides pour les eaux d'alimentation publique. — American Journal of pharmacy. T. 85, 1913, p. 247.
4. CAPELLANI : Le « Tacchiolo » comme désinfectant des légumes. — Annali d'Igiene sperimentale (nouvelle série). T. 15, 1905. p. 463.
5. GOSIO : Note sur les mesures de désinfection appliquées en Italie pendant la campagne anti-cholérique en 1910-1911. — Trad. du Bull. off. inter. d'hyg. pub. T. 3, 1911, p. 1797.

le bactérium coli. De plus, il laissait à l'eau un goût très désagréable qui, à lui seul, suffirait à exclure ce procédé ; le Dr Biancotti a d'ailleurs confirmé les expériences du Dr Tonello (1).

Perchlorure de fer. — Nous le citerons à titre de curiosité bien qu'en ayant déjà parlé dans le procédé Manget. D'après les Américains (2) le chlore donne des résultats peu satisfaisants, certaines bactéries utilisent même l'action de l'hypochlorite de chaux pour vivre et prospérer ! Il vaudrait mieux se servir du Fe Cl_3 . Celui-ci ajouté à de grands volumes d'eau aérée serait très instable, le fer s'unissant à l'oxygène pour donner de l'oxychlorure de fer, les matières organiques étant entraînées par les particules ferrugineuses et le chlore se combinant avec les bases présentes.

Ce sel, d'après les Américains, donnerait de très bons résultats.

Méthode Armand GAUTIER. — Cette méthode a été préconisée récemment, surtout pour l'élimination de l'arsenic qu'un ennemi sans scrupule pourrait ajouter aux eaux. Ajoutons que l'eau se trouve stérilisée par le fait même. Elle consiste d'après M. Gaillard (3), pour chaque litre d'eau, à :

1^o Délayer 0 gr. 12 de chlorure de chaux dans environ dix parties d'eau, agiter et mélanger ;

2^o Prélever environ 2 gr. 60 de l'eau précédente, y ajouter 0 gr. 26 de perchlorure de fer officinal, et verser la solution ferrique dans la totalité de l'eau, laisser en contact pendant une heure ;

3^o Prélever 1 gr. 50 de l'eau précédente et y faire dissoudre 0 gr. 16 de sulfate ferreux. Verser cette solution dans la totalité de l'eau. Agiter pendant quelques minutes ;

4^o Prélever environ 10 grammes de l'eau précédente et y dissoudre 0 gr. 30 de bicarbonate de soude. Verser cette solution dans la totalité de l'eau. Filtrer au bout d'une heure.

D'après M. Gaillard, « ce procédé assure la purification complète de l'eau, précipite et élimine la totalité de l'arsenic minéral sous forme d'arséniate ferrique — cas d'intoxication par l'ennemi — précipite en partie l'acide cyanhydrique possible, ou tout au moins l'indique par la formation de bleu de Prusse dans la troisième ou quatrième opération. Il offre l'inconvénient d'exiger quatre opérations, et de ne pas donner

1. TONELLO : Purification de l'eau par le « Tachiolo » de Paterno. — Giornale della R. Società ital. d'igien. — T. 27, 1905, p. 60 et 375.

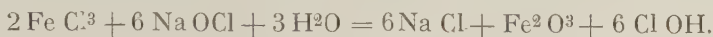
2. Le traitement des eaux potables par le chlore. — The Journal of the American Medical Association. T. 6^e, 1915, p. 174.

3. GAILLARD : Epuration des eaux de boisson en campagne. — Revue scientifique, T. 54, 1916 p. 165.

une eau limpide du premier coup. Il reste en effet fréquemment de l'oxyde ferreux en solution, qui ne peut être éliminé que par une filtration faite après peroxydation complète (environ vingt-quatre heures. »

Il laisse dans l'eau un résidu de 0 gr. 15 de sulfate de soude et 0 gr. 30 de chlorure de sodium.

Ferrochlore. — Ce procédé est dû, à Duyk (1). Il est basé sur le traitement des eaux par un mélange d'hypochlorite de soude et de perchlorure de fer dans certaines proportions. Il se forme un précipité d'hydrate de peroxyde de fer en même temps qu'il se fait un dégagement d'oxyde de chlore où domine l'acide hypochloreux. On pourrait expliquer les réactions qui se passent par la formule suivante :



En pratique on préfère utiliser l'hypochlorite de chaux qui se comporte de la même façon.



Ce procédé qui est breveté utilise un appareil entièrement métallique revêtu intérieurement d'un enduit protecteur. Il se compose : a) d'un dispositif pour le mélange des quantités réglées de l'eau et des réactifs ; b) d'un récipient de contact ; c) de deux filtres Howatson.

Ce procédé a été l'objet d'appréciation favorable de Miquel, Lévy et Bonjean à la suite d'expériences faites à Montsouris. Il est employé à Hasselt et à Midderkerke (Belgique) et à Lectoure (France).

Stérilisation par d'autres antiseptiques toxiques. — Le bichlorure de mercure vient d'être prôné en février 1915 (2) pour le même usage, à la dose de 1 pour 500.000 par Nesfield. Comme pour le « Tachiolo » il est plutôt prudent d'attendre encore avant de s'en servir.

On a également essayé l'eau oxygénée. Ce produit ne vaut rien, car ce n'est qu'un faible désinfectant à température basse et n'a son maximum d'action que vers 38°, à dilution faible bien entendu (3).

B. — Procédé aux halogènes

Le principal halogène, le chlore, est prôné *urbi et orbi* pour la stérilisation parfaite des eaux de boisson.

Nous ne ferons pas une étude complète des halogènes, car pour passer

1. F. DAELS : Déferrisation et stérilisation des eaux potables par le procédé dit au « Ferrochlore ». — Bulletin du service de santé ; 1907, p. 4 et 151, et Revue pharm. de l'hygiène de Belgique et des Flandres (nouvelle série). T. 13, p. 225 et 257.
2. NESFIELD : La stérilisation rapide de l'eau par les moyens chimiques. — Journal of the Royal Army Med. corps. T. 24. 1915, p. 146.
3. CRONER : Valeur désinfectante de l'eau oxygénée. Inter. Congress. of applied Chemistry — London, 1909. Sec. VIII, A. p. 120.

en revue tout ce qui a été écrit à leur sujet, surtout en ces derniers temps, plusieurs gros volumes ne suffiraient pas.

Mais nous résumerons les principaux travaux faisant bien ressortir leurs avantages et aussi, il faut bien le reconnaître, leurs inconvénients. Nous les étudierons dans l'ordre ci-après :

1^o Brome ;

2^o Iode ;

3^o Chlore et ses composés.

Stérilisation par le brome. — Le brome fut utilisé pour la première fois en 1897 par un Allemand, le médecin-major Schumburg (1). Il l'employait à une dose assez forte. Voici du reste sa méthode :

Pour stériliser de l'eau relativement peu sale (eau de rivières), on y ajoute par litre 2 c. c. d'une solution faite avec 20 grammes de brome, 20 grammes de K Br. et 100 grammes d'eau. Après cinq minutes on neutralise l'excès du brome en ajoutant dans cette eau 2 c. c. d'une solution aqueuse d'ammoniaque à 9 0/0. Si l'eau est très souillée, marécageuse, on se sert d'une quantité plus forte de ces deux solutions, l'eau doit garder pendant une demi-minute la coloration jaune avant qu'on y ajoute la solution ammoniacale.

Schumburg fit, avec son procédé, plus de deux cents expériences sur l'eau de la Sprée, additionnée de divers échantillons de bacilles typhiques ou de bacilles du choléra, soit en culture, soit mélangés à des matières fécales. Il trouva des résultats très supérieurs à ceux de toute autre méthode chimique de stérilisation (notons qu'à l'époque, on ne connaissait que le chlore ou bien l'emploi de doses très faibles de permanganate).

L'emploi du brome en solution présentait des inconvénients de transport en particulier pour les troupes en marche. Aussi, dès 1900 Pfuhl modifia un peu cette méthode (2).

Il fabriqua des tablettes neutralisantes pour son eau bromée. Chaque tablette se composait de sulfite de soude 0,095, carbonate de soude 0,04, mannite 0,025, et correspondait à un litre d'eau.

Malheureusement, Pfuhl le reconnaissait lui-même, l'eau obtenue par ce procédé était un peu moins fraîche et avait un goût un peu alcalin.

1. SCHUMBURG : Un nouveau procédé de stérilisation de l'eau destinée aux boissons. — Deutsche Med. Woche, 4 mars. T. 23, 1897, p. 145.

2. PFUHL : Le procédé de Schumburg pour la stérilisation de l'eau. — Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten. T. 33, 1900, p. 53.

Enfin, en 1905, Chepilwsky (1) modifia encore la méthode en utilisant un produit bromé transportable, composé de K. Br. et d'hypobromite de soude et mis sous forme de comprimés. Malheureusement, il fallait pour faire délayer le brome ajouter un peu d'acide chlorhydrique, et dès lors le problème était devenu plus compliqué sans être résolu.

La méthode de Schumburg ne présente pas que ces seules critiques (produit liquide, donnant mauvais goût à l'eau de boisson). Elle est, hélas, infidèle au point de vue microbicide.

Ceci fut d'abord constaté en 1901 par Schuder (2) en employant la méthode dite d'enrichissement du milieu de culture, et dont Engels s'était déjà servi pour prouver le peu de valeur du chlore. Les résultats obtenus par cet auteur en transformant toute l'eau stérilisée en un milieu de culture par addition de peptone furent déplorable. Le vibron cholérique, le bacille d'Eberth, même en augmentant les doses indiquées par Schumburg, résistaient parfaitement.

Engels refit, en 1902, les expériences de Schuder (3) et confirma pleinement les résultats de cet auteur.

L'emploi du brome a donc été abandonné. Signalons toutefois à titre de curiosité qu'en 1914, l'Allemand Riegel (4) essaya de le faire revivre. Sa méthode était la suivante : On ajoute à un litre d'eau à stériliser H Cl. en solution à 25 0/0, 2 grammes brome 0,06, bromure de K. 0,06. On attend quinze minutes.

Le brome étant abondant chez nos ennemis, le procédé n'a rien que de naturel ; nous ne possédons pas de document sur son efficacité.

Stérilisation par l'iode. — La difficulté d'emploi du brome a conduit naturellement à essayer l'iode, métalloïde un peu moins actif, toutefois, au point de vue microbicide, mais de consistance solide. Déjà employé par Allain qui, tout comme pour le chlore, en neutralisait l'excès par de l'hyposulfite de soude. Ce métalloïde a eu son maximum de succès avec Vaillard et Georges qui l'utilisèrent en comprimés de la manière suivante (5) :

1. CHEPILWSKY : Modification des procédés de Schumburg et Georges pour la stérilisation de l'eau potable. — Congrès de Pirogoff. Section d'hygiène, 1905. Analyse in Revue d'hygiène. T. 27, 1905. p. 643.
2. SCHUDER : Le procédé Schumburg pour la stérilisation de l'eau au moyen du brôme. — Zeitschrift fur hygiene und Infektions krankheiten. T. 37, 1901. p. 307.
3. ENGELS : La méthode de purification de l'eau de Schumburg au moyen du brôme. — Centralblats fur Bakteriologie. T. 31, 1902, p. 651.
4. AUMANN : Stérilisation de l'eau potable au moyen de l'acide chlorhydrique, du brôme et du bromure de potassium. — Deutsche milit. Zsitschrift. T. 14, 1914, p. 55.
5. VAILLARD ; L'épuration de l'eau potable en campagne. — Archives de médecine et de pharmacie militaires. T. 40, 1902, p. 1,

Mettre dans l'eau (après l'avoir filtrée si elle est trouble) un comprimé bleu, puis un comprimé rouge par dix litres d'eau.

1^o Comprimé bleu : Iodure de potassium 1 gramme
Iodate de sodium 0,156

2^o Comprimé rouge : Acide tartrique 1 gramme

Il se dégage ainsi 60 centigrammes d'iode pour les dix litres ; après dix minutes, on enlève l'excès d'iode en ajoutant un comprimé blanc (hyposulfite de soude 1 gr. 16).

Comme le reconnaît Gaillard (1) le principal inconvénient de cette méthode est le goût quelque peu médicamenteux qu'elle laisse dans l'eau. De plus, la quantité d'iodure ainsi introduite dans l'organisme n'est pas négligeable. Il se forme 0,10 de Kl. par litre, d'où à la longue, des accidents d'iodisme chez les sujets prédisposés.

Mais, il y a plus, Simonin d'abord (2) puis Obermayer, ce dernier opérant par la méthode Schuder d'enrichissement des germes (voir chlore et iode) a montré que les germes dangereux et en particulier le vibrion cholérique, résistaient parfaitement à l'iode. On peut donc en conclure, ajouta-t-il, que la méthode ne réussit pas mieux avec le bacille coli et le bacille typhique puisque ceux-ci sont, en général, plus résistants aux antiseptiques que le vibrion du cholera.

Enfin, nous devons citer l'emploi récent du trichlorure d'iode prôné par Tarugi et Bragi, composé qui, en solution à 47 0 0 conservé en flacons colorés se maintient longtemps inaltéré. On neutralise l'excès du trichlorure au moyen d'hyposulfite de soude. D'après les auteurs, il suffit d'une goutte de leur solution pour stériliser vingt litres d'eau (3).

Nous ne voulons pas terminer les halogènes, brome, iode, chlore, sans faire remarquer combien la guerre actuelle aura eu pour effet de les mettre en vedette.

Les Allemands qui sont les vrais inventeurs des halogènes pour la purification des eaux de boisson, nous ont fait là un bien mauvais legs. A notre avis, il ne faut retenir que leurs méfaits, tout comme il faut se rappeler de leur emploi systématique des gaz toxiques à base de chlore et de brome ou des mécomptes de la teinture d'iode, que l'on employait

1. GAILLARD : Epuration des eaux de boisson en campagne. — *Revue scientifique*. T. 54, 1916, p. 165.
2. KLISZOWSKI : Stérilisation des eaux de boisson par l'iode libre à l'état naissant. — Thèse de médecine de Lyon, 1904.
3. TARUGI ET BRAGI : La stérilisation de l'eau par le trichlorure d'iode. — *Rivista di Ingegneria Sanitaria e di Edilizia moderna*. T. 11, 1915, p. 269.

à tort et à travers sur les plaies au début de la campagne, et qui a occasionné de nombreux cas de gangrène.

C. — Procédés utilisant le chlore ou ses composés (1).

C'est Traube qui, le premier en 1894, montra l'action stérilisante, du chlore, à l'état d'hypochlorite de chaux, sur les eaux (2). Cet auteur déclara obtenir en deux heures la stérilisation d'une eau ne contenant que des espèces microbiennes banales en l'additionnant de chlorure de chaux à la dose de 4 milligrammes par litre (soit un peu plus de un milligramme de chlore libre ou actif pour un million de milligrammes d'eau). Il se débarrassait ensuite de l'excès de chlore restant dans l'eau par addition d'hyposulfite de soude.

Karlinski, puis Kratschmer, reprirent peu à peu les expériences de Traube et annoncèrent que sa méthode faisait périr le vibrion et le *C. bacille* dans l'eau, tout comme les espèces microbiennes banales. Sickenberger et Kaufmann essayèrent alors l'hypochlorite de soude à raison de 2 à 3 milligrammes de chlore par litre et annoncèrent qu'ils étaient arrivés, à cette dose, à tuer le vibrion du choléra en cinq minutes dans l'eau. Rappelons une fois pour toutes au lecteur que l'hypochlorite de chaux contient en moyenne 33 0/0 en poids de chlore libre. L'eau de Javel (hypochlorite de soude) titrant ordinairement 32° chlorométriques, contient environ 100 grammes de chlore libre par litre en solution.

Or, dès 1895, apparurent les premières critiques. Ce fut d'abord Bassenge (3) qui montra qu'on ne pouvait stériliser l'eau de la Sprée, très riche en germes saprophytes, avec la dose d'hypochlorite de chaux indiquée par Traube, même en vingt-quatre heures. Pour arriver à ce résultat, il lui fallait non pas un milligramme, mais dix milligrammes de chlore libre par litre d'eau, pendant deux heures ! D'autre part, expérimentant avec le bacille typhique, il vit qu'il fallait pour tuer ce dangereux microbe, forcer la dose à 32 milligrammes de chlore par litre et attendre une heure de temps. Enfin, Lode (4) à son tour vit qu'avec un milligramme de chlore, il suffisait que l'eau contînt un peu de matière organique pour qu'il n'y eût presque jamais stérilisation ; même après vingt-quatre

1. La plupart des renseignements sont tirés d'une revue critique de M. E. Arnould, *Revue d'Hygiène et de police sanitaire*, T. 34, 1912, p. 1030 et suiv.
2. TRAUBE : Einfaches Verfahren Wasser in grossen Mengen Keimfrei zu Machen. — *Zeitschrift für Hygiene*. T. 16, 1894, p. 149.
3. BASSENGE : Zur Herstellung Keimfreiem Trinkwassers durch Chlorkalk. — *Zeitschrift für Hygiene*. T. 20, 1895. p. 227.
4. LODE : Die Gewinnung von Keimfreiem Trinkwasser durch Zusatz von Chlorkalk. — *Archiv. für Hyg.* T. 24, 1895, p. 236.

heures d'attente. D'après ces expériences, la stérilisation ne pouvait avoir lieu que si l'eau était distillée, la matière organique peu abondante, et à condition de faire agir sur une telle eau, 32 milligrammes de chlore libre par litre pendant trente-deux minutes !

A vrai dire, à cette époque, on souhaitait surtout de trouver un procédé chimique capable de rendre inoffensive en quelques minutes une eau de boisson infectée, de façon à satisfaire par exemple (et ceci a été repris depuis pour la guerre actuelle) aux besoins des troupes en campagne. On essaya donc de fortes quantités de chlore dont on détruisait ultérieurement l'excès par du sulfite de soude ou du sulfite de calcium. On constata hélas ! que le goût et l'odeur du chlore n'en persistaient pas moins quand, chimiquement, ainsi que l'avaient constaté Schwarz et Nachtigall (1), on n'en trouvait plus trace dans l'eau.

Hünemann et Deiter revinrent donc à la charge, essayant de remplacer l'hypochlorite de chaux dont s'étaient servis Bassenge et Lode par de l'hypochlorite de soude ; ils prétendirent qu'avec une dose de 40 milligrammes de chlore actif par litre, on avait la stérilisation absolue de l'eau (avec le mauvais goût en plus) en dix minutes.

Seulement, Schuder, dès 1902 (2), confirme les résultats de Hünemann ; il voit, en effet, qu'en l'espace de dix minutes, indiqué par cet auteur, les germes saprophytes diminuent de nombre, mais ne disparaissent pas tous ; de plus, dans la plupart des cas, le bacille typhique, le bacille dysentérique et le bacille du choléra persistent encore. Ces résultats furent enfin confirmés par Rabs (3) qui expérimenta aussi bien avec CaOCl_2 qu'avec NaOCl (il déclara qu'avec 40 milligrammes de chlore par litre la stérilisation demandait non pas dix minutes, mais une demi-heure), puis confirmés encore par Engels (4).

La question paraissait donc bien tranchée et la purification de l'eau de boisson par les hypochlorites semblait abandonnée. D'ailleurs elle n'était entrée en pratique vers cette époque qu'à Pola (année 1896) et à Maidstone, en Angleterre (année 1897), lors d'épidémies de fièvre typhoïde. Le chlore fut donc délaissé.

1. SCHWARZ ET NACHTIGALL : Ueber die Behandlung von Trinkwasser mit Chlorkalk. — Gesundheits ingénieur. — T. 25, 1912, p. 256.
2. SCHUDER : Neber das Hunermannsche Verfahren der Wasserdesinfektion. — Zeitschrift für Hygiene. T. 39, 1901, p. 379.
3. RABS : Beiträge zur Trinkwasserdesinfektion mit chlore. — Hygienische Rundschau. T. 11, 1901, p. 1085.
4. ENGELS : Weitere Studien über Sterilisation von Trinkwasser auf chemischen Wege. — Centralblatt f. Bakter. Orig. T. 33, 1902, p. 495.

Tout à coup, on ne sait pas pourquoi, le chlore revint à la mode, cela commença en Angleterre par la ville de Lincoln qui s'en servit pour stériliser ses eaux de boisson à l'occasion d'une épidémie de fièvre typhoïde en 1904. Puis, vers 1908, on s'en engoua en Amérique sous l'influence de Rideal. Il faut cependant dire à la louange des Américains, aussi bien que de Rideal, que le but poursuivi était dans ce cas non pas une destruction, mais une diminution de germes, analogue à celle que donne une bonne filtration. Nous citerons parmi les villes américaines qui l'employèrent à cette époque, Jersey City, Omaha, Minneapolis, Poughkeepsie, Lakeside, Nashville, Montréal, etc...

La dose de chlore libre employée était d'environ 1 milligramme par litre d'eau à épurer (1).

Or, en 1910, ce procédé fut employé à Paris. Au mois de juillet 1910 on manquait d'eau de source pour l'alimentation de la capitale et on dut recourir à une distribution quotidienne d'eau de Marne de 35.000 mètres cubes. Sur les conseils de M. le docteur Roux, directeur de l'Institut Pasteur, on employa donc la javellisation (2). L'eau de Marne était additionnée d'hypochlorite de soude à dose correspondant à 0 milligr. 8 de chlore actif par litre. Après six heures de contact, cette eau était diluée à Montsouris dans quatre à cinq volumes d'eau de source pure puis distribuée aux Parisiens.

L'exemple de Paris fut bientôt suivi par Marseille sur les indications de Calmette, pour l'asile d'aliénés de cette ville dont l'eau d'alimentation était infestée par le bacille du choléra ; de Marseille, le procédé s'étendit un peu partout.

Une voix autorisée et sage s'était toutefois élevée en France pour modérer l'engouement des municipalités contre la javellisation, c'était celle de Chantemesse. Voici ce que publiait ce savant dans son *Rapport sur la valeur de la javellisation*, rapport présenté par la Commission de surveillance et de perfectionnement du Bureau d'hygiène de la Ville de Paris dans sa séance du 10 mars 1912 (3) :

« La Commission estime que parmi les *procédés de fortune pour la purification des eaux de sources suspectes* le plus économique et le plus pratique est le procédé à l'hypochlorite de soude. »

« La Commission estime en outre que ce procédé ne peut être qu'un procédé de fortune, et qu'il importe que l'Administration et le Conseil

1 et 2. E. Roux : Stérilisation des eaux de source par un procédé de fortune. — Revue d'hygiène et de police sanitaire. T. 34, 1912, p. 749.

3. ARNOULD : Le traitement des eaux de boisson par les hypochlorites alcalins. — Revue d'hygiène et de police sanitaire. T. 34, 1912, p. 1030.

« municipal prennent le plus tôt possible les mesures nécessaires pour
« amener à Paris des eaux pures et fraîches en abondance. »

D'après les expériences faites par Chantemesse à cette époque, il résultait qu'un volume d'eau de Javel correspondant à un milligramme de chlore par litre tuait le bactérium coli en six heures ; avec un milligramme et demi, la destruction était plus rapide, mais il fallait atteindre 3 milligrammes pour que la mort de la bactérie soit certaine en trois heures.

Ceci est très important parce que le bactérium coli est plus résistant au chlore que le bacille d'Eberth, et s'il est tué, on peut être sûr que ce dernier l'est aussi.

Toutefois, M. le professeur Chantemesse demandait *que l'épuration de l'eau par le chlore restât l'exception, et que l'on n'y ait recours que lorsqu'on ne pouvait pas faire autrement.*

Destruction du chlore en excès. — Lorsque le chlore est employé en petite dose, soit en moyenne à la dose déjà employée en Amérique de 0 milligramme 8 de chlore actif par litre d'eau (dose conservée d'ailleurs en France par la circulaire du Ministre de l'Intérieur du 25 septembre 1914) il disparaît rapidement du fait même de son action purificatrice, se transformant en chlore inactif et combiné qui vient se confondre avec celui des chlorures (Na Cl , Ca Cl^2) déjà contenus dans les eaux. « Il importe, « comme l'a dit M. Le Roy, que cette disparition du chlore actif, qui est « plus ou moins rapide, selon la nature de l'eau, sa teneur en matières « organiques, en nitrites, en substances sulfurées, son état d'aération, « de malaxage, de température, de solarisation, etc..., soit accomplie « avant l'arrivée aux robinets d'utilisation. En effet, s'il n'est pas démon- « tré que de minimes quantités de chlore actif, constamment ingérées « dans l'eau de boisson ne soient pas insalubres, en agissant par exemple « sur les ferments digestifs, il est évident que l'odeur et la saveur d'une « eau contenant du chlore actif et qui deviennent perceptibles dès que la « dose atteint environ 0 milligramme 05 par litre, sont désagréables et « répugnantes au consommateur. » (1)

Pour savoir combien il faut mettre d'eau de Javel, et ceci est très important pour la stérilisation rapide en campagne où l'on emploie des doses de chlore allant jusqu'à 14 milligrammes par litre, la généralité des expérimentateurs sont tombés d'accord pour employer la méthode que nous décrivons ci-dessous, et dont nous nous sommes servis nous-mêmes.

2. LE ROY : Recherche du chlore libre dans les eaux d'alimentation. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences. 1916, T. 162, p. 327.

On devra tenir compte d'abord de l'origine de l'eau plus ou moins souillée suivant qu'elle a été puisée à la surface ou en profondeur.

De la teneur en chlore de l'eau de Javel que le pharmacien a à sa disposition. Pour cela on devra faire l'expérience suivante : Prendre 5 verres numérotés de 1 à 5 contenant chacun 10 c. c. de l'eau à essayer. Dans le premier on ajoute 1 goutte d'extrait de Javel dilué au 1/100^e ; dans le deuxième 2 gouttes, dans le troisième 3 gouttes, dans le quatrième 4 gouttes, dans le cinquième 5 gouttes ; on agite : après quinze minutes on ajoute 1 c. c. de réactif ioduro-amidonné (le réactif ioduro-amidonné se prépare de la façon suivante : on porte à l'ébullition 1 gramme de fécule dans 100 c. c. d'eau, et on ajoute 1 gramme d'iodure de potassium et 1 gramme de carbonate de soude).

Le liquide se colore en bleu plus ou moins intense suivant que le chlore libre met plus ou moins d'iode en liberté. Le verre le moins coloré servira de base. Le nombre de gouttes d'extrait de Javel dilué indique le nombre de gouttes d'extrait de Javel pur à ajouter dans dix litres d'eau à stériliser.

Si l'eau ne se colore en bleu dans aucun des cinq verres on devra recommencer l'expérience en augmentant le nombre de gouttes.

Une eau qui exigerait une proportion d'eau de Javel correspondant à plus de 15 milligrammes de chlore par litre devra être rejetée.

La présence d'un excès de chlore se détermine par la réaction de l'iodure-amidonné soit sur le liquide lui-même, soit sur la partie non congelée d'un certain volume de ce liquide, où se concentrent les sels, d'après Le Roy (1). Ce même auteur a encore indiqué un procédé plus sensible, consistant dans l'emploi de la leucobase du violet hexaméthylé (1) qui se recolore en présence de traces de chlore.

On a recommandé pour faire disparaître l'odeur du chlore dans les eaux, les moyens suivants :

L'emploi du charbon de bois utilisé surtout en Angleterre (2) qui enlève aux eaux javellisées tout goût et toute odeur. On l'utilise sous forme de grands filtres. Le charbon de bois ainsi utilisé perd sa propriété au bout de deux ans environ ; mais il suffit de le chauffer au rouge pour le revivifier. On ne sait pas comment agit ce charbon, car il ne semble pas fixer le chlore libre, mais il se peut, d'après Jarvis, qu'il favorise la décomposition de l'hypochlorite.

1. LE ROY : Un réactif du chlore dans les eaux d'alimentation urbaine. — C. R. Acad. Sc., 1916, T. 163, p. 226.

2. JARVIS : Elimination par le carbone du chlore en excès dans les eaux traitées par l'hypochlorite en Angleterre. — Engineering News. T. 69, 1913, p. 772.

L'emploi de l'hypodisulfite de soude recommandé par Ledehrer et Bachmann (1) comme sel toujours très pur et que l'on trouve très bon marché dans le commerce. Ce sel a le grand avantage de ne pas attaquer le fer et par suite les conduites d'eau n'ont pas à souffrir de son emploi, comme ceci arrive avec l'hypo-sulfite ou le sulfite de soude.

On a également recommandé le perborate de soude, l'eau oxygénée (2), le peroxyde de chaux, le peroxyde de soude.

Le perborate de soude est certainement la forme la plus recommandable de ces percombinaisons. L'acide borique formé se retrouvant presque entièrement dans le dépôt, ce qui est surprenant et en même temps avantageux.

Emploi de l'hypochlorite de chaux. — Les hypochlorites alcalins ont un gros défaut pour les voyageurs, les touristes, les troupes en campagne : ils sont liquides et leur titre est très variable (trop variable même pour la pratique courante). Aussi, a-t-on cherché à les remplacer par l'hypochlorite de chaux, poudre plus stable.

C'est Klut qui, en 1913 (3), a surtout recommandé son emploi. En 1914 Sims Woodhead et John Tresh (4) le prônèrent à nouveau, mais si l'eau à purifier ne contenait pas trop de matières solides en suspension. Disons tout de suite que la remarque de Woodhead et de Sims a depuis été étendue à tous les composés chlorés : *l'eau si elle est tant soit peu trouble n'est pas stérilisée par le chlore et c'est là un des gros échecs de la javellisation.*

Voici ce qu'était en particulier la méthode de Tresh : « Délayer d'une part 100 grammes de chlorure de chaux dans quatre litres d'eau (titre ordinaire du chlorure de chaux 100 à 110 degrés, soit 320 à 350 grammes de chlore actif par kilo), d'autre part 200 grammes de $S^2 O^3 Na^2$ dans quatre litres d'eau ; les deux solutions se neutralisent volume à volume sensiblement. Un litre de la solution de $Ca OCl^2$ suffit en général pour assainir 8.000 litres d'eau de source ou de rivière claire. Après quinze minutes de contact, on sature l'excès de Cl. par addition d'un litre de solution de $S^2 O^3 Na^2$. Dans la pratique principalement, lorsqu'on a affaire à des eaux très souillées, il est indiqué de s'assurer au bout de quinze minutes de contact, qu'il existe réellement un excès de Cl. libre, par l'iodure de potassium ioduré. »

1. LEDEHRER ET BACHMANN : Elimination du goût des eaux traitées par l'hypochlorite de chaux. — Engineering News, 1912, p. 930 et Chicago Medical Recorder. T. 35, 1913, p. 477.
2. FERRAUD : Sur une modification à la méthode de stérilisation de l'eau de boisson par l'hypochlorite de soude. — C. R. Ac. des S. T. 162, 1916, p. 438.
3. KLUT : La désinfection des eaux potables par le chlorure de chaux. — Mitteilungen a. d. Königlichen Landesanstalt für Wasserhygiene. T. 17, 1913, p. 94. — Trad. du Bull. off. Intern. Hyg. publ. T. 5, 1913, p. 1893.
4. WOODHEAD ET TRESH : Stérilisation de l'eau potable en campagne. — The Lancet. T. 187 (2), 1914, p. 786 et 809.

Chose à noter, Mr. Tresh recommandait déjà l'emploi de comprimés (soloïdes). Ceci va nous amener à l'emploi des comprimés Gaillard, que nous étudierons plus loin.

Notons en passant que bien avant en 1910, Lister (1) avait essayé d'utiliser le chlorure de chaux conservé en tubes de verre scellés. Lui aussi recommandait « afin de permettre au chlore de développer toute son action oxydante, de rendre auparavant l'eau limpide, en la filtrant sur de la flanelle ».

Les professeurs Vincent et Gaillard du Val-de-Grâce, ont repris la question en 1915. Voici le résumé de leur important travail :

« L'hypochlorite de chaux, écrivent-ils (2), offre des avantages pratiques non douteux sur les hypochlorites alcalins ; il est plus stable, plus riche en chlore actif. En raison de son caractère de corps solide, il est aisément maniable et utilisable. Après de nombreux essais, nous avons réussi à faire des comprimés, dont chacun renferme au moment de la préparation 3 milligrammes 5 environ de Cl actif. Cette proportion s'abaisse avec le temps vers 3 milligrammes, dose suffisante pour l'épuration d'un litre d'eau. »

La dose du chlore indiquée par Vincent et Gaillard paraît suffisante pour les eaux bien limpides, si nous en croyons Nesfied ; en 1915, cet auteur recommandait :

1^o Dans les cantonnements et les camps où l'eau est protégée et claire, d'employer le chlore (ou l'iode) à la dose de 3 milligrammes par litre, pendant cinq minutes si on opère sur 20 litres et pendant dix minutes si on opère sur 200 litres ;

2^o Pour les eaux *mal protégées et louches* on emploiera dans les mêmes conditions de temps 7 milligrammes par litre ;

3^o Pour les eaux troubles on emploiera soit 7 milligrammes par litre et on laissera agir trente minutes, soit 14 milligrammes par litre et on laissera agir dix minutes.

Les comprimés de Vincent-Gaillard comprennent un mélange de 0,015 de Ca O Cl² et 0,08 de Na Cl pur.

L'adjonction de Na Cl présente une certaine importance. Lorsqu'on introduit un de ces comprimés dans l'eau et qu'on agite on constate, en effet, que le Na Cl qu'il contient favorise la diffusion et la dilution très rapide du Cl dans l'eau à épurer. En dix minutes, et alors que le comprimé ne paraît pas modifié, les trois quarts du Cl actif disponible sont déjà dissous dans l'eau. Dans les dix minutes suivantes, la presque totalité de ce qui reste de Cl actif a été mise en liberté.

1. LISTER : Stérilisation de l'eau de boisson en campagne par l'hypochlorite de chaux. — The military surgeon. — Mars 1913, Washington.

2. VINCENT ET GAILLARD : Sur l'épuration de l'eau de boisson par l'hypochlorite de chaux. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences. T. 160, 1913, p. 483.

Ces comprimés récemment préparés sont très énergiques vu leur grosse dose de Cl. Mais ils faiblissent un peu avec le temps. D'après Gaillard lui-même (1) les premiers comprimés fabriqués par lui en janvier 1915 n'accusaient plus en décembre après onze mois de conservation, en flacons, que 2 milligrammes 4 de Cl.; cette dose est toutefois encore suffisante pour la purification de l'eau.

Leur action sur les bactéries pathogènes est très nette; les bactéries non pathogènes résisteraient un peu et même après quatre ou cinq heures se mettraient à pulluler avec intensité. A notre avis, il y a là des lacunes qui sont bien loin d'être comblées. De plus, nous émettons quelque doute sur le goût qu'aura l'eau traitée par de tels comprimés. Surtout si, l'eau étant très sale, on est obligé de doubler leur dose.

Le professeur Ottolenghi (2) recommande d'ailleurs de s'abstenir dans ce dernier cas, son opinion nous paraît sage.

Succédanés des hypochlorites. — Comme le chlore présente quelques inconvénients, la sagacité des chercheurs ne s'en est pas tenue aux hypochlorites seuls. Nous allons passer rapidement en revue les succédanés auxquels on s'est adressé.

Chlore liquide. — Voici ce que nous lisons dans le journal de l'*American Medical Association* du 10 juillet 1915 (3) :

« L'emploi des hypochlorites n'est pas sans présenter des inconvénients. La question du dosage en particulier est délicate et surtout quand les eaux sont riches en matières organiques, il peut y avoir facilement production d'une odeur et d'un goût désagréables. Afin d'éviter les réclamations dans certaines villes, la quantité d'hypochlorite a été réduite, quelquefois jusqu'à devenir inefficace, et c'est la cause très probablement d'une épidémie de fièvre typhoïde signalée récemment. »

On éviterait ces inconvénients sinon complètement, du moins en grande partie, au moyen du Cl. liquide, lequel est ajouté à l'eau dans des conditions d'exactitude et de simplicité qui permettent d'éviter les dosages défectueux et leurs suites. D'après C.-R. Darnall (4) le Cl. agirait comme purificateur tout comme les hypochlorites, en qualité d'oxydant suivant la formule bien connue : $2 \text{Cl} + \text{H}_2\text{O} = 2 \text{HCl} + \text{O}$.

1. GAILLARD : Epuration des eaux de boisson en campagne. — Revue scientifique. T. 54, 1916, p. 165.

2. OTTOLENGHI : Recherches expérimentales sur la purification par le chlorure de chaux de l'eau destinée aux troupes. — L'Igiene Moderna. T. 9, 1916, p. 1.

3. Traitement des eaux potables par le chlore, — The Sanitary Record, 12 octobre 1911, p. 348.

4. DARNALL : Purification de l'eau par le chlore anhydre. — Journal Am. Public health Association. T. 1, 1911, vol. 1, p. 783.

Diverses marques de cylindres à chlore liquide sous pression sont dans le commerce et les frais d'achat d'appareils et d'installation seraient peu élevés. Les villes américaines de Lockport, de North Tonawanda, de Milwaukee et de Buffalo l'utilisent.

« Malheureusement, ajoute l'auteur, ce procédé ne supprime ni la « turbidité, ni la coloration des eaux et par suite on ne saurait le consi- « dérer comme satisfaisant à toutes les nécessités de la purification des « eaux potables. »

Chlore et acide hypochloreux. — En 1895 (1) Harper a utilisé le mélange de Cl. et d'acide hypochloreux que l'on obtient en faisant agir l'acide chlorhydrique sur le chlorate de potasse.

On se sert d'une bouteille portant une marque qui correspond à un volume de 500 c. c. et qui est remplie d'eau jusqu'à cette marque. Elle est fermée par un bouchon à deux trous portant deux tubes, dont l'un (*a*) affleure à la partie inférieure du bouchon, tandis que l'autre (*b*) s'enfonce jusqu'au fond et communique d'autre part au moyen d'un tube en caoutouc avec un tube de verre transparent traversant le bouchon que ferme une petite bouteille B.

Ayant fermé le robinet du tube (*a*) on verse 3 gr. 50 de H Cl concentré dans la bouteille B, on ajoute 32 grammes de Cl O³ K en poudre, et on met en place le bouchon. Le mélange gazeux de Cl et d'acide hypochloreux produit par la réaction est chassé par l'intermédiaire du tube (*b*) dans la bouteille A et s'y dissout très facilement dans l'eau. De temps en temps, on entr'ouvre le robinet du tube (*a*) pour abaisser la pression. Quand la réaction est terminée, ce qui prend quinze minutes, on a dans la bouteille A une solution de Cl. et d'acide hypochloreux telle que 30 grammes ajoutés à vingt litres d'eau donnent une solution à 1 pour 400.000 de Cl. actif environ, suffisante d'après l'auteur pour détruire tous les germes des maladies hydriques, sans donner à l'eau un goût désagréable.

Ce procédé est toujours à retenir comme procédé pratique de fortune pour la javellisation.

D'après Nesfield (2), l'eau ainsi traitée a un goût parfaitement désagréable que l'on peut diminuer par l'addition d'hyposulfite de soude, et même faire partir tout à fait lorsque l'hyposulfite de soude ne suffit pas (ce qui est le cas général) en ajoutant un peu d'iodure de potassium, dans la proportion de 0 gr. 3 de KI pour 1 gr. 6 de S² O³ Na².

1. HARPER NELSON : Stérilisation de l'eau par le chlore. — The British Medical Journal, 1915.

2. NESFIELD : La stérilisation rapide de l'eau par les moyens chimiques. — Journal of the Royal-Army, Medical Corps. T. 24, 1915, p. 146.

Peroxyde de chlore. — Ce gaz préconisé par H. Bergé, en 1898, s'obtient en traitant du chlorate de potasse par de l'acide sulfurique dans un appareil à deux tubulures. On fait barboter ce gaz dans l'eau à stériliser ou mieux on prépare des solutions titrées correspondant à des volumes d'eau à stériliser déterminées.

L'auteur reconnaît toutefois que lorsque l'eau est trouble et souillée il est indispensable de la clarifier au préalable.

E. Vallin (1) analysant ce procédé dans la *Revue de l'hygiène* de 1898, écrivait ces lignes qu'il faut retenir, car elles condamnent les procédés au chlore et donnent la préférence à l'épuration par le permanganate :

« Nous nous méfions de ces procédés d'épuration chimique, disait-il. » Cependant le permanganate de potasse ou de chaux est une ressource quand on réussit à débarrasser l'eau de la saveur atramentaire et de la couleur violette qu'il y a laissées. Nous verrons que c'est là le gros avantage du procédé de l'armée ».

« Quant au procédé de M. Bergé qui paraît simple, inoffensif et économique, reste à savoir s'il est efficace ! »

M. F. Schoofs (2) condamne l'emploi de $S O^4 H^2$ qui peut donner lieu à des explosions. Il donne la préférence au procédé F.-C. Calvert et E. Davies qui consiste à chauffer au bain-marie à une température de 70° environ un mélange de $Cl O^3 K$ et d'acide oxalique. Le gaz qui se dégage est dans ce cas accompagné de $C O^2$, ce qui est sans importance.

Schoofs a fait du procédé Bergé une étude critique étendue, d'où il ressort que son application est difficile et que son emploi a divers défauts.

D'après M. Bergé, il suffirait de 0 gr. 0003 de peroxyde de chlore pour stériliser un litre d'eau.

De l'étude que nous venons de faire, les avantages et les inconvénients de l'emploi du chlore peuvent se résumer ainsi :

Avantages de l'emploi du chlore. — L'emploi du chlore en tant que stérilisant de l'eau a des avantages appréciables.

1^o Lorsqu'on agit sur des eaux claires et filtrées, la stérilisation avec une solution bien titrée est complète ;

2^o C'est au point de vue économique le procédé le plus recommandable ;

1. VALLIN : Analyse du travail précédent. — In *Revue d'hygiène*. T. 20, 1898, p. 861.

2. SCHOOLS : Le peroxyde de chlore appliqué à l'épuration des eaux. — *Revue d'hygiène*. T. 22, 1900, p. 680.

3° La rapidité de stérilisation des eaux par ce procédé est un facteur appréciable ;

4° On peut en employant l'eau de Javel réaliser une stérilisation automatique, en faisant arriver par un dispositif assez simple une quantité donnée d'eau de Javel dans un volume d'eau déterminé.

Inconvénients de l'emploi du chlore. — 1° Les eaux javellisées sentent mauvais, et ont mauvais goût. Déjà à Paris en 1911, on se plaignait de l'odeur des eaux ainsi traitées, fournies à la population. La même année on dut, pour la même raison, l'abandonner en Allemagne (1-2) bien qu'on eût cherché à supprimer ces inconvénients par l'addition d'hyposulfite de sodium, ce qui, nous l'avons vu, n'enlève ni odeur ni goût ; toutefois, on s'y habitue indubitablement et l'on arrive à n'y prêter aucune attention.

2° Les eaux javellisées ne sont pas éclaircies. Si elles sont troubles et à aspect peu engageant, elles gardent leur vilain aspect. Il faut dans ce cas les filtrer, c'est-à-dire employer un procédé, la filtration qui, en réalité, est le seul pratique en la circonstance ;

3° La javellisation n'enlève pas la coloration des eaux due aux matières organiques : la filtration subséquente pas davantage. Ceci est un sérieux reproche à adresser à la javellisation ;

4° Elle n'a qu'une action relative sur les matières organiques de l'eau, à moins que celles-ci ne soient en quantité excessivement faible, et encore leur transformation n'est pas complète. C'est ainsi que M. Gaillard expérimentant avec ses comprimés à l'hypochlorite de chaux a vu que la transformation de ces matières organiques allait dans une proportion (3) qui variait du quart à plus de la moitié, et pouvait même aller jusqu'aux trois quarts, lorsqu'il y en avait fort peu.

5° Elle n'a aucune influence naturellement pour améliorer les eaux tourbeuses ; elle ne préserve pas des dangers du saturnisme ; elle n'adoucit pas les eaux qui sont trop calcaires ;

6° Le dosage n'est pas à la portée de tous. Il faut être chimiste et être outillé pour se servir de ce procédé ; mais donnez à n'importe qui de l'eau de Javel, et il arrivera ce qui arrive actuellement aux soldats du front ; ou bien ils en mettront trop et rejetteront l'eau avec dégoût, vu

1. ARNOULD : Le traitement des eaux de boisson par les hypochlorites alcalins. — Revue d'hygiène et de police sanitaire. T. 34, 1912, p. 1030.

2. SCHWERS : Un échec de l'épuration des eaux suspectes par le chlorure de chaux. — Gesundheit. 15 mars 1913, p. 181, ou Technique sanitaire, 1912, p. 23 et 124.

3. GAILLARD : Epuration des eaux de boisson en campagne. — Revue scientifique. — T. 54, 1916, p. 165.

son odeur, ou bien ils n'en mettront pas assez et ne stériliseront rien ;

7^o L'eau de Javel n'est pas d'un titre constant. Il suffit pour s'en convaincre de questionner les pharmaciens dirigeant actuellement un laboratoire d'essais et de toxicologie sur le front ; tous vous diront que le titre des eaux de Javel varie de 0,07 à 30^o dosimétriques.

Nous allons maintenant quitter l'étude de ces procédés pour aborder les procédés au *permanganate*.

D. — Procédés au Permanganate.

Parmi ceux-ci [un seul fixera plus longuement notre attention, comme étant le plus pratique, celui du pharmacien-major des Troupes coloniales, Georges Lambert, perfectionné par le pharmacien-major de l'Armée, Froment, définitivement adopté pour l'épuration des eaux de boisson des troupes en campagne, et dont l'inscription au formulaire des hôpitaux militaires a été décidée par la Commission de revision, réunie sur l'ordre du Ministre de la guerre, sous la présidence du médecin inspecteur Troussaint.

La première mention de l'emploi du permanganate pour l'épuration des eaux se trouve dans un travail publié en 1892 par une Russe, Mlle Schipiloff, dans un journal presque français : *La Revue médicale de la Suisse romande*.

Vallin analysant ce travail l'appréciait ainsi (1) :

« On sait que le permanganate de potasse à la dose de 5 à 10 centigrammes par litre d'eau, non seulement oxyde toute la matière organique contenue dans l'eau, mais encore stérilise sûrement cette eau, en tuant tous les organismes vivants. Il se forme alors un précipité brun brunâtre d'oxyde de manganèse tout à fait inoffensif, l'oxyde de manganèse a même été employé comme succédané du fer dans l'anémie.

« Mlle Schipiloff, de l'Université de Genève, propose de stériliser ainsi toute eau suspecte destinée aux usages alimentaires ; elle ajoute à l'eau une petite quantité de sucre ou d'eau-de-vie pour transformer en oxyde de manganèse le petit excès de permanganate de potasse. Bien que ce dépôt soit inoffensif, il serait facile de l'enlever en mêlant à l'eau un peu de braise de boulanger pilée au mortier et en filtrant à travers un double linge.

« Le procédé est ingénieux et pratique ; il a déjà été conseillé théoriquement. Mlle Schipiloff paraît en avoir fait l'emploi personnel. Il nous

1. M^{lle} C. SCHIPILOFF : Stérilisation de l'eau par le permanganate de potasse. — *Revue médicale de la Suisse romande*. T. 12, 1892, p. 793. — *Revue scientifique, analyse* T. 51, 1893, p. 252.

semble capable de rendre service dans certaines circonstances où il est impossible de faire usage d'autres boissons que d'une eau suspecte et même corrompue; en voyage, dans les expéditions et en campagne, voire en cas d'épidémie imputable à l'eau... Le procédé mérite d'être étudié et essayé. »

Quelque temps après, Chicandart modifiait le procédé Schipiloff en remplaçant par du thé ou du café le sucre ou l'eau-de-vie primitivement employés.

Les deux procédés précédents Schipiloff et Chicandart sont excellents car ils emploient tous deux une forte dose de permanganate de potasse (5 à 10 centigrammes par litre). Mais ils présentent un gros défaut. C'est de donner en somme une eau colorée, teintée toujours en brun, malgré la filtration, par les oxydes de manganèse en solution colloïdale. Ce sont donc d'excellents procédés de fortune et rien de plus.

Dans tous les procédés que nous étudierons maintenant, nous allons voir les auteurs tâcher d'une manière plus ou moins heureuse d'enlever ce manganèse colloïdal de façon à présenter au consommateur de l'eau parfaitement limpide et transparente.

Procédé BORDAS et Ch. GIRARD (1). — Le permanganate de potasse est un sel parfaitement stable, bien défini, inaltérable, mais il coûte relativement cher. Aussi dès 1895, MM. Bordas et Ch. Girard essayèrent-ils de le remplacer par du permanganate de chaux, pensant que du jour où la consommation en deviendrait assez importante, ce sel pourrait être produit dans les fabriques de produits chimiques à des prix relativement peu élevés.

Le permanganate de chaux est un sel cristallisé en aiguilles violettes très déliquescentes. Mais il est très facilement décomposable au contact des matières organiques de l'eau, en oxygène, oxydes de manganèse et chaux. L'acide carbonique, soit dissous dans l'eau, soit formé par l'oxydation des matières organiques, hâte du reste cette décomposition par suite de sa grande affinité pour la chaux.

Or, les oxydes de manganèse qui se forment restent en solution dans l'eau. De plus, il reste un gros excès de $(\text{Mn O}^4)^2\text{Ca}$ non décomposé, car il faut toujours en mettre une quantité assez forte pour opérer la stérilisation de l'eau.

Pour enlever les oxydes et détruire le $(\text{Mn O}^4)^2\text{Ca}$ restant, MM. Bordas et Girard eurent l'idée de filtrer l'eau permanganatée sur un mélange

1. BORDAS ET GIRARD : Epuration chimique des eaux. — Comptes rendus de l'Académie des Sciences. T. 120, 1895, p. 689.

de charbon de cornue et d'oxydes inférieurs de manganèse agissant comme réducteurs, et présentés dans le commerce sous forme d'aggloméré.

Ce procédé serait parfait vu la forte dose de $(\text{Mn O}_4)^2\text{Ca}$ employée par les auteurs (0,10 centigrammes par litre) s'il donnait toujours de l'eau parfaitement décolorée. Malheureusement, et MM. Bordas et Girard l'ont fait remarquer eux-mêmes, l'eau après son passage sur l'aggloméré réducteur, reste quelquefois colorée en brun très clair.

A part cet inconvénient qui est suffisant par lui-même pour rejeter le procédé, la méthode est excellente. Ainsi qu'il a été vérifié, l'eau ainsi traitée ne contient plus de matières organiques ni de germes. Elle ne contient que de très faibles traces de carbonate de chaux, provenant de la réaction et des traces d'eau oxygénée qui continuent à en assurer l'antisepsie.

MM. Bordas et Girard firent toutefois une remarque très importante. Ils virent que l'eau qui passe colorée en brun à la filtration se décolorait à l'air après vingt-quatre heures en laissant déposer une gelée brun cannelle formée par un oxyde de manganèse manganique qui est donc soluble au moment de sa formation au même titre que l'oxyde de fer dialysé.

En réalité, il se trouve à l'état de peroxyde de manganèse hydraté colloïdal comme on l'a fait remarquer depuis, tout comme l'oxyde de fer des eaux souterraines ferrugineuses (voir chapitre IV) est à l'état d'hydrate de fer colloïdal. Or, de même que l'on enlève l'hydrate de fer des eaux souterraines en l'oxydant par ruissellement à l'air, ce qui le coagule, de même on parvenait à décolorer l'eau chargée de manganèse par une simple exposition à l'air. Il est donc suffisant d'aérer fortement cette eau pour activer sa décoloration et la coagulation des oxydes de manganèse. Le fait nous a du reste été signalé par le pharmacien-major Georges Lambert qui est parvenu en fouettant de telles eaux à activer cette coagulation et par suite leur décoloration.

Le procédé Bordas et Girard est exploité sous le nom de « Filtres Lutèce ». On peut du reste obtenir des quantités d'eau plus fortes que celles données par un seul de ces filtres en associant plusieurs blocs filtrants. On obtient ainsi des batteries filtrantes. Quand la filtration diminue on change les blocs.

Procédé GUICHARD. — On peut rapprocher ce procédé du précédent, bien qu'il emploie du permanganate de potasse, en ce sens qu'on

utilise le fer en tournures comme agent réducteur. L'eau permanganatée passe lentement sur des filtres pleins de copeaux de fer plus ou moins oxydés qui détruisent l'excès de permanganate et retiennent les oxydes de manganèse formés. Il y a lieu de faire à ce procédé le même reproche qu'au précédent : bien souvent l'eau filtrée est colorée en brun cannelle.

Procédé LAPEYRÈRE. — Le pharmacien principal de marine Lapeyrère eut l'idée en 1897 d'utiliser la tourbe comme agent réducteur du permanganate. La tourbe (ou ulmine) fixe rapidement l'oxygène à l'état naissant en formant de l'acide ulmique. Aussi, lorsqu'on met en présence du permanganate de potasse en solution diluée dans l'eau, dans de l'eau et de la tourbe, celui-ci est détruit. Il se forme de l'acide ulmique et des oxydes de manganèse qui vont se fixer sur la tourbe et, tout comme dans le procédé Bordas et Girard, agissent comme réducteurs eux aussi.

Evidemment, l'acide ulmique qui se forme est soluble dans l'eau et passe dès lors dans l'estomac du consommateur. Mais, comme on ne se sert dans ce procédé que de traces de permanganate, il ne se forme que des traces d'acide ulmique et ceci est sans importance d'après Henry (1). Sans grosse importance, pourrions-nous dire, car on introduit ainsi dans l'eau la substance organique, alors qu'en réalité tout procédé de purification bien compris doit, avant tout, chercher à la détruire.

Lapeyrère ne s'est pas contenté d'utiliser le permanganate de potasse. Il a ajouté à ce sel le mélange anticalcaire de Burlureaux (voir chapitre III). Il obtint ainsi une poudre dont voici la formule :

Chaux vive délitée et tamisée.....	8 parties
Alun.....	3 —
Carbonate de soude.....	4 —
Permanganate de potasse.....	1 —

Pour l'usage, on ajoute dans l'eau à purifier 25 à 30-centigrammes de cette poudre par litre, de façon à ce qu'elle conserve une teinte *rose clair*. Ceci fait, on attend un quart d'heure ou mieux une heure, puis on filtre dans un cylindre contenant de la ouate de tourbe (2).

On maintient la ouate de tourbe parfaitement stérile en la lavant de temps à autre dans une solution concentrée de permanganate de potasse.

1. J. HENRY : Stérilisation de l'eau par le filtre Lapeyrère. — Revue d'hygiène. T. 22, 1900, p. 233.
2. LAVIRAN : Rapport sur le filtre Lapeyrère pour purifier l'eau de boisson du soldat en campagne. — Bulletin de l'Académie de Médecine (2^e série). T. 38, 1897, p. 585.

Ce procédé très connu dans le commerce, car il fut un des premiers spécialisés, présente de très gros inconvénients. La poudre Lapeyrère s'altère au contact de l'air, la chaux ne tardant pas à se transformer en carbonate de chaux.

Le filtre s'encrasse très vite. Comme il faut une longue colonne de ouate de tourbe pour décolorer l'eau permanganatée, la résistance à la filtration est très grande. Il suffit que l'eau à purifier soit tant soit peu trouble pour que le filtre s'encrasse et ne donne plus qu'un débit insignifiant, goutte à goutte.

L'eau passe souvent encore rose, la réduction par la tourbe ayant été insuffisante.

Enfin, la stérilisation absolue de l'eau n'est pas très sûre, vu la faible quantité de permanganate employée, surtout si l'on n'a pas la patience d'attendre une bonne heure. Vallin lui-même préfère encore le filtre Bordas (filtre Lutèce) au filtre Lapeyrère.

Procédés Gabriel LAMBERT, utilisant de faibles quantités de permanganate. — Nous venons de voir qu'il faut attendre longtemps pour assurer la stérilisation de l'eau avec de petites quantités de permanganate. Gabriel Lambert a toutefois constaté qu'à ces doses, même très faibles, les permanganates peuvent détruire les germes dangereux des eaux si on laisse agir un temps suffisant, et donnent de l'eau à peu près stérile.

Son procédé qui a été essayé au Tonkin est une reprise du procédé Guichard. Il consiste à ajouter à l'eau du permanganate de chaux en quantité telle qu'il n'en reste que quelques milligrammes par litre après une heure d'action. On fait ensuite passer l'eau à travers de la ferraille ou de la fonte en morceaux pour réduire le permanganate, puis sur des filtres rapides pour compléter l'épuration. Ce procédé a été abandonné comme n'ayant pas donné de résultats satisfaisants.

Un autre procédé du même auteur, basé sur la même remarque, fut préconisé par le commandement au début de la campagne actuelle en octobre 1914. Il consistait à additionner l'eau de permanganate de potasse à dose faible dans les seaux des troupiers, puis à ajouter un peu de vin pour détruire ce permanganate ; l'idée était excellente, mais c'est en somme le procédé Schipiloff-Chicandart.

Procédé DELORME (1). — En l'année 1900, les troupes qui vinrent exécuter leurs tirs au camp de Chalons durent faire usage d'eaux de puits suspects. Le médecin inspecteur Delorme, alors médecin en chef

1. DELORME : Désinfection des puits par le permanganate de potasse. — Bulletin de l'Académie de Médecine (8^e série).

du camp, eut recours à la désinfection par le permanganate de potasse, puis réduction de ce sel par le charbon.

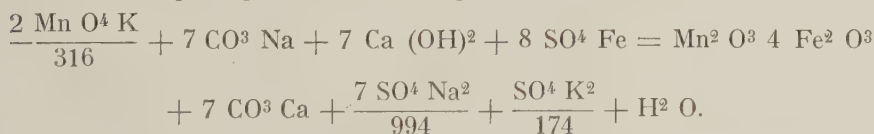
Pour cela, on calculait approximativement le volume de l'eau stagnante des puits ; on y délayait une quantité de MnO^4K équivalente à 5 ou 10 centigrammes par litre. On s'assurait que la teinte du MnO^4K persistait encore au bout d'une demi-heure, puis on projetait dans le puits une partie de charbon pilé, trois parties de sable. Ceci fait, on épuisait à la pompe l'eau du puits.

Nous citons ce procédé de désinfection, excellent d'ailleurs, comme application de ce que nous avons déjà dit pour la réduction du MnO^4K par le charbon. Toutefois, Vallin analysant cet article, trouve avec juste raison, que la projection de sable et de charbon n'était pas indispensable, la réduction devant se faire d'elle-même par la réduction des matières organiques du sol des puits. Nous partageons cet avis.

Procédé Ch. HY. — Cet expérimentateur, pharmacien civil à Dakar, donna en 1904-1905, une excellente formule d'épuration des eaux de boisson. Il employait le mélange suivant :

Permanganate de potasse.....	1 équivalent
Carbonate de soude.....	7 —
Chaux	7 —

Après avoir fait agir quelques centigrammes de cette poudre, par litre d'eau à épurer, il éliminait l'excès de permanganate par addition de sulfate de fer desséché. Il se forme ainsi du sulfate de soude et du sulfate de potasse qui restent en dissolution, du sesquioxyde de fer et du carbonate de chaux qui se précipitent et qu'on élimine par filtration. L'ensemble des réactions qui se passent est donné par la formule suivante :



Ce procédé breveté qui a été du reste perfectionné par son auteur, est excellent. C. Hy emploie un procédé réellement pratique puisqu'il consiste à éliminer tout le MnO^4K par des produits chimiques très purs qui ne peuvent apporter à l'eau de matières organiques (comme le font l'acide citrique ou la tourbe des procédés précédents) puis à compléter l'épuration par une filtration grâce à laquelle les oxydes insolubles de manganèse et de fer qui se précipitent sont éliminés. Employée à dose suffisante, la poudre Hy, ainsi que l'a vérifié le Dr Achalme du Muséum, stérilise parfaitement l'eau de boisson.

On pourrait toutefois reprocher à la poudre C. Hy du moins à celle dont nous connaissons la formule) de ne pas être très stable, la chaux devant fatalement se carbonater, tout comme celle du procédé Lapeyrère. Enfin, on peut objecter que la quantité totale de sulfate de potasse et de sulfate de soude qui se forme et qui est de 0 gr. 23 par litre pour 0 gr. 06 de MnO^4K est assez élevée. Quoiqu'il en soit, nous le répétons, ce procédé est à notre avis un procédé pratique qui, bien que ne valant pas celui de la guerre, mérite d'être cité avec honneur.

C. Hy a lancé récemment dans le commerce une nouvelle poudre destinée à opérer d'un seul coup la purification de l'eau par le MnO^4K , et quelques instants après sa précipitation. Evidemment, il y aurait grand avantage à se servir d'une poudre unique au point de vue manipulation. Malheureusement, à notre avis, les deux opérations sont trop simultanées. Le réducteur détruit le MnO^4K avant que celui-ci ait eu le temps d'agir suffisamment sur toutes les bactéries, et brûler les matières organiques. Nous avons expérimenté cette poudre unique et vu qu'après quelques minutes il ne restait plus trace dans l'eau de la couleur violette du permanganate. Sauf perfectionnements ultérieurs, elle est donc à rejeter.

Procédé Gabriel LAMBERT. — Le pharmacien-major des troupes coloniales, Gabriel Lambert, a, depuis 1904-1905, étudié la question de la purification des eaux de boisson. Ses procédés ont été spécialisés et se trouvent dans le commerce sous le nom de poudre Manganit. Nous n'en connaissons pas les formules définitives, mais nous pouvons toutefois dire, d'après ce qu'a publié cet auteur, que le sel réducteur du permanganate est un sel manganoux. Il y a là vraiment de la part de cet auteur beaucoup de sagacité et une certaine originalité dans le procédé, d'avoir eu l'idée de réduire le permanganate qui est un sel manganique, par un sel manganoux. On a ainsi un précipité unique d'oxyde de manganèse que l'on élimine par filtration tout comme dans le procédé C. Hy.

Les formules de Gabriel Lambert, avons-nous dit, ont été très modifiées et sont tenues secrètes. Toutefois, voici celles qu'il a publiées à l'origine en 1906, époque à laquelle il employait le sulfate manganoux comme agent réducteur du MnO^4K .

Poudre n° 1.

Permanganate de potasse pulvérisé.....	8
Carbonate de soude sec.....	10

Poudre n° 2.

Sulfate de manganèse.	{	Quantité correspondante à 4,53
	{	de sulfate de manganèse pur et
	{	anhydre.
Sulfate d'alumine pulvérisé sec.	{	Quantité suffisante pour avoir
	{	un volume égal à la poudre n° 1.

ou bien :

Poudre n° 1.

Permanganate de potasse pulvérisé.....	3
Carbonate de soude sec.....	5

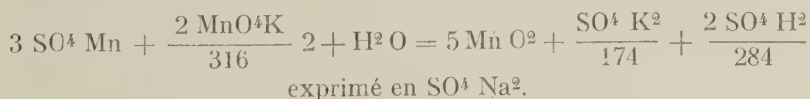
Poudre n° 2.

Sulfate de manganèse pulvérisé	{	Quantité correspondante à 4,53
sec.	{	de sulfate de manganèse pur et
	{	anhydre.
Carbonate de chaux précipité	{	Quantité suffisante pour avoir
sec.	{	un volume égal à celui de la poudre
	{	n° 1.

Précipitine n° 3. — Solution de chlorure ferrique à 65 pour 100. Gabriel Lambert employait une quantité de la poudre n° 1 correspondant à 0,03 de MnO^4K par litre d'eau à épurer et, dans la deuxième formule, une goutte de précipitine par litre d'eau.

Nous n'avons pas besoin de nous étendre sur la théorie de ces procédés, action du sulfate d'alumine sur le carbonate de soude, ou du perchlorure de fer sur le carbonate de soude.

Nous renvoyons pour cela le lecteur au chapitre III. Nous donnerons simplement une formule qui est le résumé de toutes celles que l'auteur a publiées à ce sujet, qui fera comprendre l'action du sulfate manganeux sur le permanganate de potasse.



L'étude biologique du procédé Gabriel Lambert a été faite, soit au Val-de-Grâce, soit à l'Institut Pasteur de Lille. Elle est à notre avis très importante, car complétant en cela l'étude que le Dr Achalme fit au Muséum pour le procédé C. Hy, elle prouve amplement qu'à la dose de 0,03 par litre de MnO^4K et à condition d'obtenir la formation dans l'eau d'un abondant précipité, on élimine à coup sûr après filtration toutes

les bactéries, tous les germes les plus nocifs de l'eau de boisson. (Voir nos expériences à ce sujet chapitre V.)

Le procédé Gabriel Lambert est donc un excellent procédé, extrêmement original, et qui, comme celui de C. Hy, et du reste tous les procédés au permanganate, a l'avantage d'être français.

Procédé LAURENT (1). — C'est encore à un pharmacien des troupes coloniales, Laurent, que l'on est redevable d'un autre procédé d'épuration des eaux de boisson par le permanganate. Comme nous le verrons en citant ultérieurement le procédé des pharmaciens de l'armée et des troupes coloniales, Froment et Georges Lambert, on peut dire que les procédés d'épuration au permanganate, les seuls efficaces et pratiques, ont été inventés par des pharmaciens.

C'est dire assez que si le permanganate de potasse a eu leur préférence, c'est que réellement il avait pour cela des raisons indiscutables de supériorité sur tous les autres produits.

Laurent, qui a publié sa méthode en 1907 dans le *Journal de Pharmacie et de Chimie*, emploie l'hyposulfite de soude comme agent de réduction du MnO^4K .

Sa formule pour un litre d'eau est la suivante :

Poudre n° 1.

Permanganate de potasse	0,03
Alun ordinaire	0,06

Poudre n° 2.

Hyposulfite de soude	0,03
Carbonate de soude	0,06

La formule Laurent est une vraie merveille de simplicité. En utilisant l'hyposulfite de soude, Laurent mit la main sur un sel éminemment bon marché, parfaitement stable, facile à se procurer partout. On peut dire que c'est lui qui fut réellement le promoteur de la stérilisation pratique des eaux à bon marché. Comme nous le verrons plus loin, c'est le procédé Laurent qui a été repris et amélioré par Georges Lambert, puis ensuite par Froment, pour aboutir, en fin de compte, au procédé de l'armée.

Le procédé Laurent a été utilisé dans l'armée avant l'emploi des poudres Georges Lambert et des comprimés Froment-Lambert; lors de la découverte de ces derniers auteurs, il fut abandonné. On doit toutefois

1. GARRET : De l'épuration chimique de l'eau de boisson en campagne et en garnison, par le procédé Laurent. — Archives de Médecine et de Pharmacie militaires. T. 57, 1911, p. 360.

lui reconnaître le mérite d'une grande simplicité, et d'après les expériences qui furent faites, celui d'assurer d'une manière parfaite la stérilisation de l'eau (1).

Nous reprendrons en étudiant le procédé Georges Lambert l'étude de la réaction qui se forme lors de la réduction du MnO^4K par l'hyposulfite de soude. Disons simplement qu'il se forme de l'oxyde de manganèse insoluble que l'on doit éliminer par filtration.

Autres procédés basés sur le même principe. — Tout agent réducteur du MnO^4K non toxique et ne laissant dans l'eau après réaction aucun composé toxique peut servir de base à un procédé d'épuration. On pourrait passer aussi en revue tous les réducteurs connus, mais nous nous contenterons de citer :

1° Le procédé Debuchy. Cet auteur utilise la résorcine à l'état de traces ;

2° Le procédé V. Ferraud et Georges Lambert. Ces auteurs emploient l'eau oxygénée. Ce procédé a l'avantage de laisser dans l'eau des traces infimes d'eau oxygénée qui maintiennent pendant longtemps la stérilisation ;

La méthode Ferraud et Georges Lambert est en somme l'inverse du procédé Bonjean, qui employait l'eau oxygénée d'abord (10 c. c. d' H_2O_2 commerciale à 20 vol.) et le MnO^4K ensuite. Pour détruire l'eau oxygénée pouvant rester dans l'eau, Bonjean filtrait sur une colonne de coke ;

3° Le procédé Lecomte (pharmacien-major de l'armée). Cet auteur emploie :

a) Des ampoules contenant chacune 1/2, 1, 2, 5 ou 10 c. c. de solution à 70 0/00 de permanganate double de fer et d'alumine obtenu par double décomposition entre un mélange de sulfate ferrique et de sulfate d'alumine d'une part, et du permanganate de chaux d'autre part ; chaque ampoule est destinée à 1, 2, 4, 10 ou 20 litres d'eau.

b) Des ampoules d'eau oxygénée à 12 vol. de la même contenance, ayant pour but la destruction du permanganate.

C'est en somme une modification du procédé Ferraud et Georges Lambert. Gaillard trouve le procédé excellent, purifiant bien l'eau et sans laisser de produits résiduels. Toutefois, il émet quelques doutes sur la conservation de ces produits épurants en ampoules. Nous ajouterons pour notre part que ce procédé paraît bien encombrant et bien fragile.

1. LAURENT : Journal de Pharmacie et de Chimie. Sur un procédé chimique de l'épuration de l'eau potable en campagne. — (6^e série). T. 28, 1908, p. 392.

Procédés Georges LAMBERT et FROMENT, avec additions intentionnelles de coagulants. — Nous avons conservé pour la fin le procédé que nous allons maintenant étudier en détail : celui imaginé par Georges Lambert, puis perfectionné par Froment et qui, après de nombreux essais, tant au Val-de-Grâce qu'au Laboratoire de chimie de la Pharmacie centrale de l'armée, a été adopté par le Service de Santé pour l'épuration de l'eau des troupes en campagne, puis de là s'est répandu un peu partout.

Bien entendu, nous ne pouvons, dans un exposé aussi concis que celui-ci, en faire une étude absolument complète ; mais ce que nous en dirons sera amplement suffisant pour persuader que c'est là encore le meilleur procédé d'épuration qui existe, renvoyant d'ailleurs les incrédules à l'essai de cette méthode pour être convaincus.

C'est en Afrique équatoriale, en 1910, que le docteur Georges Lambert, pharmacien-major des troupes coloniales, alors en service à l'hôpital de Libreville, fit des recherches qui l'amènèrent à la découverte de ce procédé.

Les eaux de Libreville, comme toutes les eaux des pays chauds, sont particulièrement suspectes. La proximité de la forêt vierge, les fermentations intenses sous l'influence de la chaleur, la contamination perpétuelle de ces eaux par les indigènes, les rendent très dangereuses : elles contiennent le germe du paludisme, celui de la dysenterie, de la filariose, et on peut même admettre que la trypanosomiase (maladie du sommeil) n'est pas étrangère à leur absorption.

Frappé de ces dangers, que nous avons exposés dans le chap. III (1^{re} partie) G. Lambert se mit à l'œuvre pour trouver un moyen réellement pratique d'épuration. Naturellement, il s'adressa au permanganate de potasse, corps cristallisé parfaitement stable, toujours facile à doser, et ayant l'avantage, lorsqu'on le réduit, de donner naissance à un volumineux précipité de sesquioxyde de manganèse, agissant par lui-même comme clarifiant.

Les buts qu'il se proposa furent les suivants :

1^o Obtenir un procédé utilisant de très fortes doses de permanganate de façon à obtenir très rapidement une stérilisation complète et indiscutable de l'eau ;

2^o Réduire le permanganate employé et le coaguler en un précipité aisément filtrable, en n'employant *aucun produit pouvant laisser à l'eau un goût de manipulation.*

Ce second but était très difficile à atteindre. Nous avons assez longuement insisté dans tout ce qui précède pour montrer que les procédés

chimiques laissent à l'eau un goût souvent détestable. Or, le public, et à plus forte raison le public peu instruit, refuse à absorber toute eau ayant le goût d'une drogue.

Aucun de nous ne fera le même reproche en parlant de l'eau épurée par le permanganate et les coagulants.

Tout corps capable de réduire le permanganate de potasse, en donnant de l'oxyde de manganèse, peut, avons-nous dit, servir de base à un procédé d'épuration des eaux de boisson. Malheureusement, si, théoriquement il est aisé d'écrire des équations chimiques, représentant de telles réductions, on se heurte, dès qu'on veut les mettre en pratique, à une grosse difficulté.

En effet, aussi fortes que puissent être les doses de MnO^4K , que l'on ajoute à l'eau pour l'épurer, ces doses ne peuvent pas dépasser quelques centigrammes par litre. Or, à cette dose, les oxydes de manganèse formés par réduction ne se coagulent pas, ne se précipitent pas ; ils restent dans l'eau à l'état de solution colloïdale, et, lorsqu'on essaie de les filtrer, glissent au travers des filtres les plus ténus, donnant à l'eau un aspect brunâtre, sale, peu engageant, et la rendent absolument imbuvable.

Ce fait a été signalé par MM. Bordas et Girard, au sujet des critiques que l'on peut adresser à leur procédé.

Emmerich a démontré qu'il s'agit là d'un *peroxyde de manganèse hydraté colloïdal*. Ce peroxyde est analogue au peroxyde de fer colloïdal, qui existe dans certaines eaux souterraines, peut s'oxyder à la longue dans les mêmes conditions et par suite s'enlever de la même manière par aération.

Aussi, tous les inventeurs ont-ils cherché à provoquer cette précipitation du manganèse colloïdal, en ajoutant ce que Georges Lambert a appelé pour la première fois des « adjuvants de coagulation ». Ces adjuvants de coagulation peuvent agir de deux façons : 1^o en modifiant la tension superficielle du milieu ; 2^o en agissant par attraction. L'alun, le carbonate de soude, la chaux, que nous avons vu employer abondamment dans les procédés qui précèdent, n'ont pas d'autre but. Malheureusement, ces adjuvants de coagulation, en admettant même qu'ils ne puissent laisser aucune trace de leur présence dans l'eau, lui donnent toujours un goût détestable. Il en est de ces coagulants comme du chlore ; on a beau les détruire, il en reste toujours un peu et le consommateur peut en juger par son palais.

Georges Lambert a donc essayé de rejeter ces coagulants et d'employer

des coagulants insolubles, ne laissant absolument rien dans l'eau, après filtration, perceptible au goût le plus délicat. Voilà pourquoi sa méthode est elle aussi appelée par lui : « la méthode du permanganate aux coagulants insolubles ».

Comme on le voit, il s'agit là de faits entièrement nouveaux dont nous allons étudier le mécanisme.

L'argile que l'on trouve à l'état colloïdal dans certaines eaux (eaux de la Plata, par exemple, qui alimente Buenos-Aires) et qui, à cet état, passe à travers les filtres, se coagule de la même manière si on ajoute à l'eau des sels calcaires. M. Doyel (1) a démontré : 1° que cette argile à l'état colloïdal ne se rencontre pas dans les eaux à faible degré hydrotimétrique ; 2° qu'en élevant la dureté de l'eau à 3°, 7° ou 8°, cette argile commence à se déposer doucement et peut être alors retenue par les filtres à sable.

Nous avons cité exprès l'argile, parce qu'il s'agit là d'un composé insoluble sur lequel la chaux n'a aucune action chimique ; il s'agit donc bien d'une modification de tension moléculaire de l'eau. (Ces observations ont permis à M. Doyel de coaguler l'argile des eaux de la Plata, par adjonction de calcaire). Toutefois, l'opinion publique des habitants de Buenos-Aires était tout à fait opposée à l'addition de produits chimiques à leur eau, fût-ce même le simple calcaire. Il tourna alors élégamment la difficulté. Il découvrit que les eaux des puits de certains districts de la capitale avaient une dureté qui pouvait atteindre 44°. Il fit des expériences en mélangeant des proportions variables d'eau du Rio de la Plata avec les eaux de ces puits. En choisissant un mélange convenable, puis en laissant décanter et filtrer, il obtint ainsi des eaux tout à fait limpides.

Mais on peut coaguler de la même façon cette argile colloïdale à l'aide d'autres sels solubles ; ceux-ci modifiant de la même manière la tension moléculaire du milieu. Ces sels sont très nombreux. On peut citer le sulfate d'alumine (nous avons vu son emploi par les Chinois), l'alun, le perchlorure de fer, le chlorure de chaux, le permanganate de potasse (2), comme l'a démontré M. le docteur Imbeaux.

Au lieu d'employer des sels solubles pour modifier la tension moléculaire du milieu ou d'obtenir une précipitation dans la masse en partant de deux sels solubles réagissant l'un sur l'autre, Georges Lambert eut

1. C. DOYEL : Une méthode pour enlever des eaux potables l'argile colloïdale en suspension. — *Engineering News*. T. 70, 1913, p. 15.
2. E. IMBEAUX : Le Génie sanitaire à l'Exposition de Dresde. — *Revue d'hygiène et de police sanitaire*. T. 34, 1912, p. 235.

l'idée de les supprimer et d'employer des poudres inertes, absolument insolubles dans l'eau, agissant pour activer la coagulation par attraction ou mieux par capillarité.

L'attraction que jouent vis-à-vis des particules colloïdales les poudres inertes que l'on introduit dans une eau est très considérable.

Elle est très suffisante pour provoquer à elle seule un sérieux commencement d'épuration des eaux de boisson. Le procédé Manget, par exemple, n'agit que pour cette seule raison. Il en est de même du mélange carbonate de soude-alun. Un excellent procédé pour purifier l'eau consiste à agiter celle-ci avec des particules solides, mais très fines, par exemple le fer divisé (Clark) ou de colcothar (Barthe), puis à filtrer. On enlève ainsi 98 à 99 0/0 des bactéries.

Une expérience chimique due à Bunsen met bien en évidence cette puissance de l'attraction. Bunsen plonge dans l'eau une lame de verre, puis l'essuie aussi soigneusement que possible. Il constate que la surface de la lame reste de ce fait modifiée, car elle est recouverte d'une couche d'eau extrêmement mince, ayant 5 microns, c'est-à-dire $1/200.000$ de millimètre d'épaisseur et présentant avec la lame de verre une adhésion si forte qu'il faut la chauffer à 500° pour la chasser complètement.

Or, la quantité d'eau retenue par la lame de verre, dépend de la surface ; si donc on augmente la surface de la lame, en la brisant en morceaux très petits, on augmentera de façon notable ce phénomène (phénomène d'adsorption). Il est ainsi facile de se rendre compte du pouvoir d'adsorption des poudres fines, vis-à-vis des liquides et par suite des particules microbiennes contenues dans ces liquides.

Mais, il y a plus encore : le peroxyde de manganèse colloïdal lui-même est formé de particules excessivement fines qui jouent vis-à-vis des microbes ou des gerbes contenus dans l'eau, un rôle d'attraction considérable. C'est pour cela, du reste, que d'après Rochaix (1) tous les colloïdes (aurol, électargol, etc.) seraient bactéricides ; ils ne tueraient pas les germes, ils les détruiraient par phénomène d'adsorption. En ce qui concerne le peroxyde de manganèse colloïdal, son pouvoir bactéricide, lors de l'épuration des eaux, a parfaitement été démontré par Gabriel Lambert (2). Pour cet auteur, il s'agirait là d'un phénomène d'oxydation du manganèse colloïdal vis-à-vis des microbes. Pour Ferraud et Georges

1. A. ROCHAIX : Lois et théories de l'action germicide des substances chimiques. — Revue d'hygiène et de police sanitaire. T. 34, 1912, p. 266.

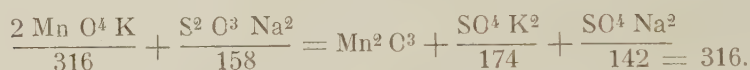
2. GABRIEL LAMBERT : De la purification des eaux de boisson et nouveau procédé chimique de purification totale et rapide des eaux destinées à l'alimentation. — Annales de Médecine et d'hygiène coloniales, 1906, p. 266, et Revue d'hygiène. T. 23, 1906, p. 578.

Lambert, il s'agirait d'un phénomène de radioactivité (1). En réalité, il s'agit simplement d'un phénomène d'attraction moléculaire.

Or, sous l'influence des poudres inertes, le manganèse colloïdal se précipite, entraînant avec lui les bacilles et germes qu'il a déjà fixés, et qui d'ailleurs, si l'action de MnO^4K a été assez prolongée, ont été déjà tués. En admettant que quelques spores résistantes aient échappé à l'action de cet oxydant, celles-ci sont ainsi fixées et entraînées.

Nous allons voir quels sont les coagulants insolubles de Georges Lambert. Disons tout de suite que cet auteur emploie comme agent réducteur du MnO^4K l'hyposulfite de soude déjà indiqué par Laurent. Seulement il double les quantités de chacun de ces deux sels, employant 0,06 de MnO^4K par litre, de façon à avoir une purification énergique et un coagulant d'oxydes de manganèse plus volumineux et partant plus lourd.

La réaction de l'hyposulfite montre un fait très curieux en ce sens que le poids total des sulfates de potasse et de soude qui se forment est égal au poids du permanganate employé :



Comme adjuvant insoluble de coagulation, Georges Lambert utilise un mélange de talc, bioxyde de manganèse et carbonate de chaux. Le choix de ces poudres n'est pas quelconque et repose sur les faits suivants :

Tout d'abord le talc est le meilleur des coagulants insolubles et est bien supérieur à ce point de vue à toutes les poudres inertes connues : silice, phosphate de chaux, charbon pulvérisé, fleur de soufre, colcothar, argile, terre d'infusoires, etc. De plus, alors que ces autres poudres coagulent mal, elles laissent de plus toutes à l'eau après épuration un fort goût de manipulation assez perceptible ; rien de semblable ne se produit avec le talc. Georges Lambert, après avoir fait une assez longue étude expérimentale des coagulants insolubles, en est arrivé à cette conclusion que, seules, les poudres de constitution amorphe jouissent vis-à-vis des colloïdes d'un haut degré de coagulation. C'est ainsi que le carbonate de chaux à structure amorphe coagule mieux que les autres variétés. Il faut en somme que la poudre provoquant la précipitation par entraînement ait une structure moléculaire analogue à celle des colloïdes que l'on se propose de coaguler.

1. V. FERRAUD ET GEORGES LAMBERT : Stérilisation de l'eau de boisson par le permanganate et l'eau oxygénée. — Revue d'hygiène et de police sanitaire. T. 30, 1908, p. 553.

Et, à ce point de vue, avec le talc on obtient le maximum d'entraînement.

Notons en passant que le talc était employé dans un but analogue à l'Institut Pasteur de Lille, par le docteur Calmette et ses collaborateurs, pour obtenir la clarification des eaux souillées : le principe est le même. Certaines argiles, comme celles des fossés de Franstadt (Allemagne), ont également la propriété de fixer très énergiquement les colloïdes, d'où leur utilité pour l'épuration des eaux résiduaires des tanneries, des brasseries, des distilleries, des fabriques de matières colorantes, des sucreries, etc., qui sont très riches en matières colloïdales (1).

Le maximum de coagulation est obtenu si on a soin d'ajouter au talc un peu de bioxyde de manganèse, oxyde qui jouit d'une constitution moléculaire voisine de celle de peroxyde de manganèse que l'on se propose de coaguler.

Enfin Georges Lambert a ajouté un peu de carbonate de chaux à ses coagulants insolubles. Nous avons montré plus haut que l'eau distillée ne coagule que difficilement le manganèse. Il en est de même de certaines eaux dépourvues de calcaire que l'on trouve abondamment répandues dans la nature, comme les eaux de pluie, les eaux de ruissellement sur terrains siliceux ou humiques. L'adjonction d'un peu de carbonate de chaux évite cet inconvénient.

En résumé, si l'on traite l'eau que l'on veut épurer d'abord par un mélange de MnO^4K de talc, de bioxyde de manganèse et de carbonate de chaux, puis par de l'hyposulfite de soude en quantité égale à celle du permanganate, on obtient, après filtration, une eau ne renfermant que du sulfate de potasse et du sulfate de soude d'un poids total également identique à celui du permanganate (soit 6 centigrammes par litre dans le procédé Georges Lambert). En effet, le sesquioxyde de manganèse précipité est insoluble et est retenu par la filtration ; il en est de même du talc, du bioxyde de manganèse et du carbonate de chaux.

Voyons maintenant l'application pratique de ce procédé :

Le Service de santé de la Guerre utilise pour l'application de ce procédé, les poudres de Georges Lambert, telles qu'elles ont été publiées (2-3) après la mise au point de son auteur.

1. P. ROHLAND : L'emploi des argiles des fossés de Franstadt (Allemagne), pour l'épuration des eaux résiduaires. — Bulletin Office International d'hygiène publique. T. 1, 1904, p. 613.
2. GEORGES LAMBERT : L'épuration chimique des eaux de boisson par les permanganates et les coagulants insolubles. — Revue des Troupes coloniales, avril 1913. T. 3, p. 392.
3. GEORGES LAMBERT : Sur l'épuration des eaux de boisson par le procédé aux coagulants insolubles. — Annales d'hygiène et de Médecine coloniale. T. 17, 1914, p. 40.

Poudre n° 1

Permanganate de potasse.....	0,06
Bioxyde de manganèse.....	0,05
Carbonate de chaux.....	0,02
Talc en poudre.....	0,37

Poudre n° 2

Hyposulfite de soude.....	0,06
Talc en poudre (quantité suffisante pour avoir un poids égal à la poudre n° 1).	

Ces quantités correspondent à un litre d'eau à épurer.

Le *modus faciendi* est très simple. On ajoute à l'eau à épurer la quantité nécessaire (soit 0,50 par litre) de la poudre n° 1 ; on la fait dissoudre et on attend dix minutes. On ajoute alors la quantité équivalente de la poudre n° 2 ; on agite la masse à plusieurs reprises, on laisse déposer et on filtre.

Ces poudres ont été expérimentées simultanément au Val-de-Grâce et au Laboratoire des Invalides, sur l'ordre du Ministre de la Guerre, par M. le médecin principal Rouget, professeur d'hygiène, M. le pharmacien principal Gaillard, professeur de chimie, M. le pharmacien inspecteur Wagner, MM. les pharmaciens-majors de 1^{re} classe Froment et Heintz.

Elles ont démontré :

1° Qu'elles ne laissaient comme résidus solubles que les 0,06 centigrammes par litre du mélange de sulfate de potasse et de sulfate de soude indiqué plus haut, dose absolument inoffensive.

2° Qu'après dix minutes d'action, vu la forte dose de MnO_4K employée, les germes nocifs tels que le bacille d'Eberth, le vibron cholérique, le colibacille, étaient complètement détruits dans l'eau stagnante. (Voir chapitre V nos expériences à ce sujet.)

3° Qu'elles ne laissaient aucun goût à l'eau de boisson. Ceci est très important. Nous renvoyons ceux qui en douteraient à l'article du professeur Gaillard, contenu dans la revue scientifique : *Revue Rose*, des 11-18 mars 1916 ; ou à l'affirmation du médecin-major Garret, *Archives de médecine et de pharmacie militaire*, août 1915. (Voir aussi plus loin l'opinion du professeur Rouget et celle du docteur Reverchon.)

Application de la méthode Georges LAMBERT à la poudre LAURENT. — Le médecin-major de l'armée Garret, reconnaissant les avantages du talc introduit par Georges Lambert dans la coagulation du man-

ganèse, a donné une formule qui n'est autre chose que celle de Laurent avec adjonction de ce composé. C'est la suivante :

Poudre n° 1, oxydante

Permanganate de potasse.....	0,03
Talc	0,03
Alun pulvérisé.....	0,06

(Pour un litre d'eau.)

Poudre n° 2, réductrice

Hyposulfite de soude.....	0,03
Talc	0,03
Carbonate de soude.....	0,06

L'adjonction de talc permet, d'après cet auteur, de mettre la poudre en comprimés. Nous citons cette formule afin de passer tous les procédés en revue ; mais nous lui faisons trois reproches. Le premier, c'est d'employer une quantité de MnO^4K moindre que celle de Georges Lambert et par suite d'être moins microbicide et moins énergique sur les eaux très souillées ; le deuxième, c'est de contenir de l'alun, produit qui, malgré sa précipitation par le carbonate de soude, laisse dans l'eau un goût parfois assez désagréable ; le troisième, c'est à quantité égale de permanganate (0,06 par litre) de laisser dans l'eau un résidu de sulfate de soude plus élevé que dans le procédé Georges Lambert, à cause de la réaction de l'alun sur le carbonate de soude.

Autre application, méthode BISSERIÉ. — La méthode du pharmacien-major de l'armée Bisserié, utilise encore le talc, comme Georges Lambert. C'est une méthode mixte, car elle est basée sur l'emploi simultané du chlore et du permanganate de potasse. En voici la formule : Ajouter à un litre d'eau :

Poudre n° 1

Permanganate de potasse.....	0,01	
Bioxyde de manganèse.....	0,03	
Talc	0,02	
Chlorure de chaux.....	0,008	environ
Carbonate de soude.....	0,016	

Laisser en contact une demi-heure et ajouter :

Poudre n° 2

Sulfate ferreux.....	0,084
----------------------	-------

Agiter et filtrer au bout d'une heure.

Gaillard, qui donne la formule de cette poudre, se demande et nous sommes absolument de son avis, si la poudre n° 1 est susceptible de conservation et si la filtration au bout d'une heure élimine totalement le fer. D'après lui, l'eau ne serait toutefois pas modifiée comme goût.

Nous allons maintenant parler d'une modification plus importante, celle de Froment, qui a donné naissance aux comprimés actuellement employés par le Service de santé de la Guerre, sous le nom de comprimés Froment-Lambert (Comprimés de permanganate aux coagulants insolubles), et qui, à notre avis, sont ce qu'il y a de mieux et de plus pratique à l'heure actuelle, pour l'épuration des eaux de boisson.

Modification de FROMENT, comprimés FROMENT-LAMBERT.
— En 1914, le Ministre de la Guerre demanda au laboratoire de la Pharmacie centrale de l'Armée aux Invalides, de vouloir bien mettre les poudres Georges Lambert sous forme de comprimés, plus faciles à transporter et d'un usage beaucoup plus commode. Froment y parvint tout en conservant les doses initiales de MnO^4K et de $\text{S}^2\text{O}^3\text{Na}^2$.

Toutefois, il réduisit la quantité de talc et ajouta du carbonate de soude. « L'addition du carbonate de soude, dit-il (1), ne peut qu'augmenter l'action bactéricide du permanganate de potasse et accélérer, comme fait le talc, la coagulation de l'hydrate de sesquioxyde de manganèse colloïdal. »

Voici la formule de ses comprimés :

<i>Comprimés bruns</i>	
Permanganate de potasse.....	0,06
Bioxyde de manganèse.....	0,05
Talc	0,07
Carbonate de chaux.....	0,02
Carbonate de soude anhydre.....	0,05
	0,25

<i>Comprimés blancs</i>	
Hyposulfite de soude anhydre.....	0,06
Carbonate de chaux.....	0,02
Talc	0,12
Carbonate de soude anhydre.....	0,05
	0,25

1. FROMENT : De l'épuration chimique des eaux en campagne, par le procédé Georges Lambert — Archives de médecine et de pharmacie militaires. T. 62, 1913, p. 400.

1^o La quantité totale en poids des poudres est réduite à 0,25 centigrammes pour un litre d'eau.

2^o Le carbonate de soude est en quantité infime : 0,10 par litre d'eau après traitement par les deux comprimés. Ce carbonate de soude non seulement augmente l'action microbicide du MnO^4K , et active la coagulation du manganèse colloïdal, mais encore a pour effet de diminuer la dureté des eaux trop séléniteuses et surtout, comme nous le verrons plus loin, d'enlever toute trace de plomb aux eaux qui pourraient en contenir.

Et, en matière d'hygiène, nous l'avons longuement démontré dans le chapitre III, il faut non seulement se méfier des bacilles, mais aussi de ce dangereux métal.

Les comprimés Froment-Lambert ont fait suffisamment leur preuve, soit au Maroc, soit dans nos diverses colonies, soit sur le front, pour qu'il y ait besoin d'insister beaucoup sur leur emploi. Comme l'a dit M. l'inspecteur Rouget, professeur d'hygiène au Val-de-Grâce, « c'est le procédé « le plus pratique (1), le seul susceptible de donner un liquide agréable « à l'œil et au goût, tout en restant inoffensif, le seul clarifiant les eaux « les plus troubles, ne laissant aucun goût à l'eau, ne modifiant pas la « composition chimique de l'eau, tout en détruisant les germes patho- « gènes (1). »

Le médecin-major Reverchon, qui s'en est servi lors de la guerre Bulgaro-Serbe, déclare également qu'avec ce procédé l'eau obtenue est agréable au goût, parfaitement limpide (1).

Actuellement, on s'en sert sur tout le front français, et il n'est pas un troupier qui ne connaisse les poudres ou les comprimés « Georges Lambert », qu'on utilise de la façon suivante :

Pour un litre, mettre un comprimé *noir* dans l'eau qu'on désire épurer ; le laisser dix minutes en contact, l'eau devient entièrement violette. Ces dix minutes sont nécessaires pour assurer la destruction des bactéries et l'oxydation des matières organiques. Puis ajouter un comprimé *blanc* et remuer jusqu'à ce qu'il soit complètement fondu ; l'eau prend une teinte marron due à la formation d'un important précipité. Verser cette eau dans le filtre muni d'un tampon de coton ; l'eau la plus souillée sort limpide comme de l'eau de roche.

Nous avons, du reste, montré au chapitre III les services que ce procédé peut rendre lorsqu'on a affaire à des eaux boueuses, intention-

1. ROUGET : Epuration de l'eau destinée à la boisson des troupes en campagne. — Bulletin de la Société de médecine militaire française. N^o 16, 6 novembre 1913, p. 582.

nellement souillées (guerre 1914-1917, retraite des Allemands, après la Marne). Il n'est pas de meilleure démonstration.

Filtration après les traitements par le permanganate.

De nombreux appareils ont été imaginés pour séparer rapidement le précipité d'oxydes de manganèse, qui se forme après le traitement de l'eau par le permanganate de potasse. Pour des rendements assez grands, on emploie la chausse filtrante du professeur Rouget.

Nous ne citerons que ceux qui ont été faits en vue d'un usage individuel ou d'une collectivité réduite.

Les plus anciens sont :

Le filtre métallique Garret, constitué par un entonnoir en fer (fig. 1). Le coton se trouvait placé entre deux grilles perforées. Sa contenance est de deux litres.



Fig. I



Fig. II

M. Froment, en respectant la forme et la contenance, a simplifié l'appareil en dotant la tige de l'entonnoir d'un renflement en forme d'ampoule, dans laquelle on introduit le coton destiné à la filtration (fig. 2).

M. Fourneau a déposé le modèle d'un bouchon filtre s'adaptant directement sur le bidon du soldat ; le coton employé est comprimé fortement et découpé en pastilles de la largeur du bouchon. Ce bouchon, formé de deux pièces (fig. 3), comporte un capuchon mobile en aluminium, dans lequel on introduit le coton, puis un bouchon de liège perforé sur lequel vient s'adapter le capuchon.

Pour le soldat en campagne, nous avons imaginé un bouchon filtre d'une extrême simplicité, que le soldat adapte à son bidon (fig. 4).

Ce bouchon, d'une seule pièce, est composé d'un tube en aluminium perforé dont la partie supérieure est terminée par un téton muni d'un petit

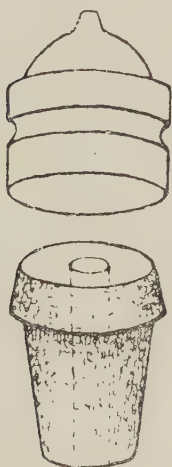


Fig. III

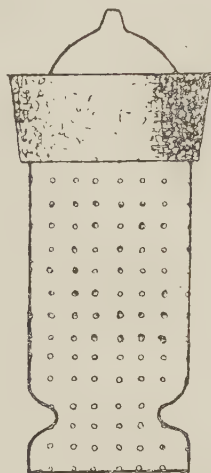


Fig. IV

tube de dix millimètres de hauteur. La partie qui pénètre dans le bidon est légèrement cintrée. Il suffit pour s'en servir de remplir le corps du bouchon du coton hydrophile que l'on trouve partout, et le soldat, après avoir introduit son comprimé de permanganate dans le bidon, peut recueillir dix minutes après, dans son quart, de l'eau absolument limpide.

Tous ces appareils sont basés sur l'emploi de coton hydrophile ou d'une nappe de molleton de coton, et tous sont excellents. Cependant, à notre avis, et d'après les renseignements qu'a bien voulu nous fournir Georges Lambert, ils sont inutiles. Il suffit de se servir d'un simple entonnoir quelconque en métal, en carton durci, dans lequel on tasse légèrement un peu de coton hydrophile.

Le procédé qui donne de bons résultats, est, à notre avis, le suivant :

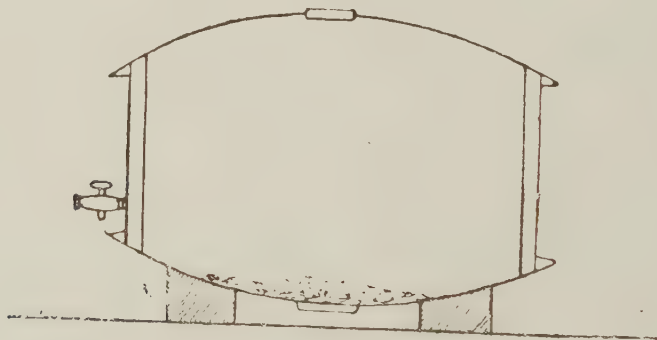
On écrase légèrement autant de comprimés noirs que de litres d'eau à épurer, on les ajoute à l'eau, et après dissolution, on attend dix minutes. (Il est évident qu'on peut attendre davantage : une demi-heure, une heure, une journée), ou faire cette manipulation le soir pour utiliser l'eau le lendemain.

On a ainsi une stérilisation absolue. Ceci fait, on ajoute autant de comprimés blancs légèrement écrasés. On agite fortement le liquide, on laisse le dépôt se former pendant quelques instants, puis on filtre.

Suppression de la filtration. — Voici le procédé indiqué par Georges Lambert (Rapport du Directeur du Service de santé du ^e corps d'armée), grâce auquel on évite toute filtration.

Nous l'indiquons ici, car il est employé actuellement par certaines unités sur le front, et peut servir d'indication générale pour un emploi analogue les lycées, casernes, grosses agglomérations, fermes, villages, etc.

On se sert de barriques que l'on surélève au-dessus du sol à l'aide d'un dispositif quelconque (caisses, rondins de bois, pierres). On les remplit d'eau à purifier, puis on additionne celle-ci de la moitié seulement de la quantité habituelle de comprimés pulvérisés ou de poudre. (Nous indiquons d'employer, sur de grandes quantités d'eau à stériliser, la moitié des comprimés, parce que nous avons dit que la quantité de permanganate que contient chaque comprimé était en excès. Nous démontrerons d'autre part, par l'analyse bactériologique, que cette dose pouvait détruire cent fois plus de germes que n'en contient l'eau la plus souillée ; il y a donc, en réduisant la quantité de permanganate de moitié sur de grosses masses d'eau, une garantie encore plus que suffisante de stérilisation et une économie.)



Ceci fait, on attend une demi-heure, de façon à obtenir avec ces doses (qui correspondent à 0,03 de MnO_4K par litre), la stérilisation complète.

Après une demi-heure, on ajoute la même quantité de poudre blanche ou de comprimés blancs pulvérisés, on ferme hermétiquement l'ouverture

du tonneau, à l'aide de sa bonde, de façon à éviter la contamination par les germes venus de l'extérieur et on agite fortement la barrique, à plusieurs reprises. Ceci fait, on abandonne au repos une dizaine d'heures.

Au bout de ce temps, le dépôt s'est complètement tassé au fond des barriques et au-dessous du niveau du robinet. Il suffit alors de soulever légèrement la bonde et d'ouvrir le robinet pour avoir de l'eau parfaitement limpide et incolore, sans qu'il soit nécessaire de filtrer. Il est évident qu'au lieu de tonneaux, on pourrait se servir de récipients quelconques.

En se servant de plusieurs tonneaux (et nous recommandons ce moyen pour les fermes et les villages, les écoles, les grosses agglomérations), on obtient ainsi sans peine, et d'une manière continue, de l'eau purifiée.

NOTE. — Les tonneaux exposés sans abri ou en plein soleil, peuvent à la longue, surtout si on s'en sert par intermittence, acquérir une légère odeur de moisi. On la fait immédiatement disparaître en les lavant de temps en temps avec une solution très faible de formol.

Il va sans dire, bien entendu, qu'on rejette chaque fois le dépôt qui s'est formé. La chose est on ne peut plus simple si on a muni le tonneau d'une seconde bonde à la partie inférieure.

Le médecin-major des troupes coloniales Stevenel, directeur de l'Institut d'hygiène et de microbiologie de Fort-de-France, se sert de cette méthode par sédimentation pour fournir de l'eau épurée à la population de cette ville, jusque-là très éprouvée par la fièvre typhoïde. Il n'a eu qu'à se louer de ses résultats (renseignement personnel).

CHAPITRE IV

Recherches sur la conservation des comprimés Froment-Lambert

Nous venons de montrer que le procédé Georges Lambert, ou mieux Froment-Lambert, était un procédé de choix. Cependant, il nous restait quelques doutes sur la conservation des poudres et des comprimés de ces auteurs. La poudre ou les comprimés noirs contiennent un peu de bioxyde de manganèse, et nous nous demandions si cet élément ne pouvait, à la longue, réduire le permanganate et provoquer un abaissement du pouvoir oxydant.

Georges Lambert, qui a expérimenté ses poudres au Gabon, pays situé à quelques minutes géographiques de l'Equateur, c'est-à-dire essentiellement humide et chaud, nous assurait de leur parfaite stabilité. Nous avons tenu toutefois à vérifier cette stabilité nous-même.

Pour cela nous avons opéré sur un kilo de comprimés d'un poids rigoureusement exact, que nous avons répartis dans des récipients de fer ou de verre et placés dans notre laboratoire d'analyses, c'est-à-dire que les comprimés renfermés dans les flacons étaient exposés à une lumière vive, et ceux des boîtes de fer étaient dans l'obscurité.

Nous avons commencé la première expérience le lendemain de la préparation des comprimés, c'est-à-dire en juillet 1915. Chaque mois, nous avons renouvelé l'expérience, et donnons ci-dessous les résultats.

Pour ce faire, nous avons pris deux ballons A et B, contenant chacun un litre d'eau distillée. Dans A, nous avons fait dissoudre un comprimé exposé à la lumière, et dans B, un comprimé conservé dans l'obscurité. Chaque comprimé pesait 0,25 centigrammes et contenait 0,06 de permanganate de potasse pur.

Dans le ballon A, nous avons versé goutte à goutte une solution décimale d'acide oxalique ; la décoloration a été complète avec 19 cc 1 de cette solution.

La même opération a été faite avec le ballon B. Nous avons dû verser la même quantité d'acide oxalique pour le même résultat.

Renouvelant cette même expérience chaque mois, en employant chaque fois une nouvelle solution titrée décimale d'acide oxalique, nous avons obtenu les résultats suivants, exposés dans le tableau ci-après :

Nombre de centimètres cubes de solution d'acide oxalique employé.

	A (Lumière).	B (Obscurité).
Juillet 1915.....	19	19
Août —	18.5	19
Septembre —	18.5	19
Octobre —	18.6	19.1
Novembre —	18.3	19.1
Décembre —	18.6	19.2
Janvier 1916.....	18.6	18.9
Février —	18.7	18.9
Mars —	18.5	19
Avril —	18.6	18.9
Mai —	19	19.1
Juin —	18.5	19

En faisant la même expérience avec la poudre, placée dans les mêmes conditions de conservation, nous avons obtenu le tableau ci-après en employant chaque fois 0,25 centigrammes de poudre contenant 0,06 de permanganate.

Employant une deuxième méthode pour contrôler le pouvoir oxydant des comprimés, nous avons opéré de la façon suivante :

Un comprimé noir, datant de deux ans et conservé à l'abri de la lumière, a été dissous dans un litre d'eau distillée bouillie.

Cent c. c. de cette solution ont été additionnés de 10 c. c. de solution de sulfate de fer ammoniacal (employé pour le dosage des matières organiques dans l'eau), puis de 5 c. c. de SO^4H^2 au 1/5^e.

Dans la solution ainsi décolorée, nous avons ajouté une solution de permanganate de potasse à 0 gr. 40 par litre jusqu'à coloration rose persistante.

Une autre expérience a été faite dans les mêmes conditions, mais dans laquelle on a remplacé les 100 c. c. de solution du comprimé par 100 c. c. d'eau distillée bouillie.

*Nombre de centimètres cubes de solution décinormale
d'acide oxalique employé.*

	A (Lumière).	B (Obscurité).
Juillet 1915.....	19	19
Août —	18,5	18,9
Septembre —	18,1	19
Octobre —	18,4	18,9
Novembre —	18	18,7
Décembre —	18,1	18,8
Janvier 1916.....	18	18,9
Février —	18,2	18,7
Mars —	18	18,8
Avril —	18,1	18,9
Mai —	18	18,7
Juin —	18	18,8

La différence entre les résultats obtenus a donné la quantité de permanganate contenue dans 100 c. c. de solution faite avec un comprimé, soit le 1/10^e de la valeur du comprimé.

En effectuant dix dosages sur dix comprimés différents, nous avons trouvé, pour chaque 100 c. c.

C. C. de Solution
de MnO_4K
à 0 gr. 40 par litre.

1.....	16	correspondant à 0,006 de permanga-
2.....	15,8	[nate de potasse.
3.....	15,9	
4.....	16	
5.....	16	
6.....	15,8	
7.....	15,9	
8.....	15,8	
9.....	16	
10.....	15,8	

On voit, par ce tableau, que la composition des comprimés est restée constante.

Ayant renouvelé l'expérience avec des comprimés exposés le même laps de temps en pleine lumière, nous avons, en opérant comme précédemment, obtenu les résultats suivants :

C. C. de Solution
de MnO^4K .

1.....	15,9
2.....	15,8
3.....	15,9
4.....	15,7
5.....	15,8

Il nous restait à connaître l'action de l'humidité. Pour ce faire :

Dans de petites fioles d'Erlenmayer, nous avons introduit un comprimé et quelques centimètres cubes d'eau distillée, de façon à humecter le comprimé. Nous avons fermé avec un tampon de coton et le tout a été abandonné à lui-même pendant un mois. Au bout de ce temps, les comprimés étaient désagregés.

Nous avons entraîné le contenu de chaque fiole dans un ballon de un litre, en complétant le volume avec de l'eau distillée bouillie.

Puis, nous avons titré comme précédemment et nous avons trouvé :

C. C. de Solution
de MnO^4K .

1.....	15,8
2.....	16
3.....	16
4.....	15,9
5.....	15,8

Sous l'influence du soleil, il y a réduction légère à la surface des comprimés ou de la poudre et coloration jaune brunâtre. Mais cette réduction est toute de surface et ne dépasse pas l'épaisseur d'une pellicule, ainsi que nos expériences l'ont démontré.

Il est évident que si l'on a soin de brasser tous les jours la poudre, puis de l'exposer en plein soleil, on parvient au bout d'un très long temps, à diminuer dans de très infimes proportions son pouvoir oxydant. Mais il s'agit là d'un fait qui, pratiquement, ne se réalise jamais. En tout cas, nous pouvons affirmer que la stabilité est pratiquement parfaite.

Un autre fait important, que nous tenons bien à mettre en lumière, est l'action vraiment remarquable de ce procédé sur les eaux contenant des sels de plomb en dissolution.

Pour vérifier ce fait, nous avons fait les expériences suivantes :

Dans une série de dix flacons de 1.000 c. c. d'eau distillée, nous avons introduit de 1 à 10 milligrammes de sous-acétate de plomb, ce qui représente des doses dangereuses pour l'alimentation.

Après traitement avec les comprimés Froment-Lambert, l'eau ne contenait aucune trace de plomb.

A cet effet, nous avons évaporé les liquides filtrés jusqu'à réduction de 25 c. c., et après traitement par parties de 5 c. c. par les alcalis et les carbonates alcalins (sels basiques), acide chlorhydrique (chlorures), acide sulfurique (sulfates), hydrogène sulfuré (sulfures), chromate de potasse, etc., les essais n'ont donné aucun résultat. L'expérience était donc concluante.

Il est évident qu'il faut attribuer cette disparition à deux facteurs : 1^o la présence d'une trace de carbonate de chaux ; 2^o l'addition du carbonate de soude.

Cela est si vrai, que si l'eau filtrée ne contient plus de plomb, par contre il se retrouve intégralement sous forme de carbonate dans le dépôt provoqué par le manganèse colloïdal et recueilli sur le filtre.

Nous avons longuement montré, dans le chapitre III, 1^{re} partie, que le plomb se dissolvait dans l'eau, grâce à la présence d'acide carbonique en excès. Le rôle du CO_3Ca est par suite de diminuer la dureté temporaire de l'eau, en absorbant cet acide carbonique. D'autre part, le carbonate de soude joue son rôle de défense, en précipitant le plomb à l'état de carbonate de plomb insoluble.

Enfin, il nous restait à savoir si dans l'eau stérilisée et filtrée, il pouvait se trouver des sels de manganèse.

Nous en avons effectué la recherche de la façon suivante (1) :

Dans 100 centimètres cubes d'eau purifiée et filtrée, nous avons ajouté quelques gouttes d'acide azotique pur, puis ce volume a été réduit par évaporation dans une capsule de quartz à 5 centimètres cubes.

Après addition de deux gouttes de solution de nitrate d'argent au 1/10^{me}, puis de 0,02 centigr. de persulfate de soude, nous avons

1. GAB. BERTRAND : Bulletin des sciences pharmacologiques, T. 18, p. 493 ; 1911. — Le procédé indiqué a été préconisé par Marshall en 1901, Chemical News, T. 83, p. 76 ; 1901.

chauffé doucement. Un léger trouble est apparu tout d'abord, puis ensuite une légère coloration rose, indiquant nettement qu'il restait des traces de manganèse dans l'eau purifiée.

Nous en avons évalué la quantité par comparaison de teinte, en préparant une solution de sulfate de manganèse pur cristallisé à 4 gr. 054 par litre, contenant 0 gr. 001 milligr. par centimètre cube.

Puis, ayant préparé toute une série de tubes contenant chacun un volume total de cinq centimètres cubes de la solution titrée de sulfate de manganèse, nous sommes arrivé par comparaison à la dilution au 1/100^{me}, qui correspond à 1 centigramme de sulfate de manganèse par litre. C'est donc un demi-milligramme de manganèse par litre, quantité en somme très minime et nullement nuisible à l'organisme, qui peut se rencontrer dans l'eau stérilisée par le procédé au permanganate.

CHAPITRE V

Recherches bactériologiques sur les dépôts formés lors de l'emploi des poudres ou comprimés Froment-Lambert.

Enfin, pour contrôler les expériences bactériologiques déjà faites au Val-de-Grâce sur de l'eau de Seine, nous avons cru devoir renouveler ces expériences :

1^o Pour connaître la capacité de destruction du permanganate ;

2^o Pour rechercher, ce qui n'avait pas été fait, si dans le dépôt formé par précipitation du manganèse, les microbes étaient complètement détruits.

Dans le premier cas, il est évident qu'un poids déterminé de produit stérilisant ne peut atteindre qu'un nombre déterminé de microbes. Or, cette relation nous a paru de la plus haute importance.

Dans le second cas, nous savions que certaines spores étaient laquées et entraînées par le précipité colloïdal qui se forme. Il était intéressant de s'en assurer.

Pour cela, nous nous sommes livré à une série d'expériences très minutieuses portant sur des eauxensemencées artificiellement et dans les conditions optima de développement des microbes.

Dans le choix de ces microbes, nous nous sommes arrêtés sur ceux que véhiculent habituellement les eaux souillées et qui sont si redoutables à l'espèce humaine, savoir le *B. d'Eberth*, le *C. bacille*, le *Streptococcus fœcalis*, et nous avons ajouté à titre d'épreuve de la méthode, le *B. subtilis*, réputé si résistant à cause de ses formes sporulées.

I

Action des comprimés sur le B. d'Eberth. — Nous avons opéré de la façon suivante : chaque expérience étant faite en double, pour en assurer la plus grande exactitude, l'une contrôlant l'autre.

A. Deux ballons stériles d'un litre sont remplis d'eau potable que nous fournit la ville de Melun. Ces ballons bouchés au coton sont stérilisés à l'autoclave à 120° (une heure).

B. Des émulsions de *B. typhiques* sont préparées avec des cultures de vingt-quatre heures, sur gélose inclinée.

Pour cela, nous avons versé stérilement, dans le tube de culture, 10 c. c. d'eau physiologique stérile, l'émulsion est préparée en agitant doucement le tube.

Un c. c. de cette émulsion, que nous appellerons émulsion A, est dilué dans 20 c. c. environ d'eau physiologique. On obtient une émulsion opalescente que l'on a soin de rendre bien homogène par une agitation bien prolongée.

Numération. — Ceci fait, nous avons procédé à la numération des microbes contenus dans 1 c. c. de cette dernière émulsion (émulsion B.).

Pour ce faire, 1 c. c. de l'émulsion B est dilué à $1/10^e$ dans l'eau physiologique ; cette nouvelle dilution est bien homogénéisée, et les microbes sont fixés par l'addition d'une goutte de formol. On les colore, dix minutes après, par l'addition d'une goutte de fuschine phéniquée.

La numération est pratiquée avec un hématimètre.

On aspire le liquide contenant les microbes colorés dans le mélangeur qui sert à pratiquer la numération des globules rouges.

Le liquide est aspiré jusqu'à la graduation 1. On remplit le mélangeur avec de l'eau stérile jusqu'à la graduation 101.

Ceci fait, et après agitation du mélangeur, on remplit la cellule de l'hématimètre, en ayant soin d'éviter les bulles d'air. On laisse déposer les microbes dix minutes.

Au bout de ce temps, on compte les microbes présents dans les 400 carrés de la cellule (1 m/m 3.)

Ce nombre, multiplié par 1.000.000, donne le nombre de microbes contenus dans 1 c. c. de l'émulsion B.

Dans notre expérience, ce nombre a été de 45 pour une première numération ; de 55 pour une seconde. Nous admettons, en prenant 50 comme chiffre moyen, que l'émulsion B contient 50.000.000 de microbes par c. m.

Pour notre première expérience de stérilisation par les comprimés, nous ajoutons dans chacun des deux ballons $2/10^e$ de c. c. de l'émulsion B, c'est-à-dire que nous ajoutons à un litre d'eau stérile 10.000.000 de bacilles typhiques vivants.

Nous nous sommes arrêtés à ce chiffre, qui est indiqué dans le traité de bactériologie de Macé, comme correspondant à celui des eaux les plus souillées : 10.000 microbes par c. c.

Action des comprimés. — Un comprimé brun est ajouté à chacun des deux ballons. Lorsqu'il est entièrement dissous au bout de quelques minutes, on ajoute un comprimé blanc. On agite, le précipité d'oxyde de

manganèse qui se forme est complètement déposé en une dizaine de minutes.

Filtration. — Le liquide clair est décanté doucement jusqu'au 9/10^e du volume. Les 100 derniers c. c. sont agités et repris dans une grosse pipette boule stérile. On filtre au coton sur un filtre stérilisé préparé d'avance au four à flamber. Le précipité brun formé reste sur le coton ; l'eau qui a traversé le coton est parfaitement limpide.

Contrôle. — Pour contrôler l'action de l'antiseptique, onensemence le précipité et l'eau recueillie à travers le filtre, chacun sur trois tubes de gelose inclinée et dans trois tubes de bouillon. Les ensemencements sont pratiqués richement.

Dans cette expérience, les douze tubes sont restés stériles, après vingt-quatre heures d'étuve à 37°.

Le permanganate contenu dans chaque comprimé est donc capable de détruire en dix minutes, après complète désagrégation, 10.000.000 de bacilles typhiques, ajoutés à un litre d'eau préalablement stérilisé.

Il ne reste pas de *microbes vivants* dans le dépôt, ni dans l'eau filtrée stérilement sur coton. Ce résultat est absolument probant de la valeur du permanganate ainsi préparé.

Mais nous n'avons pas voulu rester sur ce résultat, qui peut donner toute garantie au sujet de la destruction du bacille d'Eberth, dans les eaux d'alimentation.

En suivant la même tactique, nous avons recherché si le comprimé de permanganate peut détruire dans les mêmes conditions une quantité de microbes cent fois plus considérable.

1.000.000.000 (un milliard) de bacilles typhiques sont ajoutés à un litre d'eau stérilisée.

Nous avons obtenu les résultats suivants :

Ensemencement avec le dépôt. — Les douze tubes ont donné des cultures positives après vingt-quatre heures d'ensemencement.

Il nous restait donc à déterminer approximativement la quantité de germes tués.

Pour cela, le coton sur lequel on a filtré le précipité, est plongé dans un ballon contenant un litre d'eau stérile. On agite, pour bien répartir le précipité dans le ballon ; 1 c. c. du liquide est dilué dans 100 c. c. d'eau physiologique.

On prépare une série de tubes contenant exactement 9 c. c. de bouillon à la gélatine.

Le premier tube est ensemencé avec 1. c. c. de la dilution à 1/100^e. On agite et on ensemence le deuxième tube avec 1 c. c. du bouillon du premier tube ; puis le troisième avec 1 c. c. du second tube.

Le premier tube correspond donc à une dilution de 1/1.000.

Le second tube correspond donc à une dilution de 1/10.000.

Le troisième tube correspond donc à une dilution de 1/100.000.

La gélatine ensemencée est coulée en boîtes de Pétri. On porte à l'étuve à 25°, où on les y laisse trois jours.

Dans les boîtes correspondant à la dilution à 1/100.000, on trouve dans la première série d'expériences deux colonies dans un boîte, sept colonies dans une deuxième.

Il faut en conclure que dans 1 c. c. d'émulsion du précipité, il restait encore au moins, dans une première série d'expérience : 200.000 *germes vivants* ; dans une seconde, 700.000 *germes*.

Comme l'eau avait été contaminée à raison de 1.000.000 de germes par 1 c. c., un comprimé contenant 0,06 centigrammes de permanganate, pourrait détruire en dix minutes dans un litre d'eau artificiellement contaminée, huit cent millions de *B. typhiques* dans les expériences les plus favorables, et trois cent millions dans les cas les moins favorables.

Or, nous avons vu plus haut qu'une eau contenant dix millions de germes par litre, est considérée comme une eau très souillée.

II

Action des comprimés sur le B. Coli. — Les expériences pratiquées avec le *B. Coli* ont été calquées sur les précédentes. Elles ont donné globalement les mêmes résultats.

10.000.000 de *B. Coli*, ajoutés à un litre d'eau stérilisée, ont été régulièrement détruits par le comprimé de permanganate. *Tous les ensemencements avec le dépôt ont été négatifs.* Des quantités cent fois plus fortes de *B. Coli*, soit un milliard par litre, n'ont pas été tuées par l'antiseptique, dans ces conditions. Les ensemencements ont été positifs dans tous les tubes.

Les essais de numération par la méthode des plaques à la gélatine, ont montré que le comprimé pouvait détruire environ :

500.000.000 *germes de B. Coli*, dans les cas les plus favorables et 100.000.000 dans les cas les moins favorables.

Cette série d'expériences nous confirme que le *B. Coli* est plus résistant au permanganate que le *B. typhique*, ce que nous avons déjà indiqué au début de notre travail.

III

Action des comprimés sur le Streptocoque (S. Fæcalis). — Le streptocoque a été tué dans tous les cas par le permanganate, même à raison de un milliard par litre.

Lesensemencements avec les dépôts ont été constamment négatifs.

IV

Action des comprimés sur le B. Subtilis. — Les résultats de nos expériences ont été différents, suivant que l'on a utilisé une culture jeune, pauvre en spores, ou une culture de quelques jours dont les spores étaient abondantes.

Dans le premier cas, l'expérience pratiquée avec une émulsion de B. Subtilis jeune, à raison de 10.000.000 par litre, tous les microbes ont été tués.

Dans le deuxième cas, avec une émulsion faite dans les mêmes conditions, mais contenant beaucoup plus de spores, lesensemencements avec les dépôts ont été régulièrement positifs.

Les comprimés ne peuvent donc détruire à cette dose et dans ces conditions qu'un petit nombre de spores de B. Subtilis.

CONCLUSIONS. — Les expériences, que nous aurions pu renouveler sur un nombre beaucoup plus considérable de germes, nous ont paru suffisantes, pour en tirer les conclusions générales suivantes :

On peut, avec un comprimé contenant 0,06 de permanganate, détruire un nombre de germes qui dépasse de beaucoup celui que l'on peut rencontrer dans les eaux les plus souillées.

A coup sûr, on détruira le B. typhique, le B. coli, les cocci présents dans l'eau et en général les microbes non sporulés, à condition que leur nombre ne soit pas supérieur à 10.000 par centimètre cube.

La destruction des spores est également obtenue dans ces conditions, si leur nombre n'est pas trop considérable.

Nous devons ajouter que les germes les plus dangereux de l'eau, le B. typhique, le B. dysentérique, cholérique, ne donnent pas de spores.

Pratiquement, on peut donc espérer qu'en présence d'eau très douteuse, très sale, il suffira d'augmenter la quantité de permanganate.

Ces essais bactériologiques ont été effectués avec des comprimés préparés depuis trente mois et conservés dans des boîtes de fer ordinaires de 5 litres non hermétiques. Leur pouvoir bactéricide, dont la puissance vient d'être démontrée, vient confirmer ce que nous avons précédemment exposé sur l'inaltérabilité des comprimés de permanganate préparés selon le formulaire des hôpitaux militaires.

CONCLUSIONS

Nous résumons les principaux éléments de notre thèse :

1^o On ne saurait trop se méfier des maladies d'origine hydrique et en particulier de la fièvre typhoïde, dans les pays tempérés, voire même du paludisme aux pays chauds, bien qu'il soit dû aussi à l'inoculation par le moustique ;

2^o La même méfiance doit être apportée vis-à-vis de l'intoxication saturnine d'origine hydrique, intoxication lente et souvent méconnue ;

3^o Il ne faut employer la javellisation, excellent procédé de fortune, qu'à défaut d'autre chose ; la javellisation a l'inconvénient d'utiliser une substance altérable, de ne pas détruire les matières organiques de l'eau, de ne pas enlever les sels de plomb contenus dans les eaux, de laisser l'eau lorsqu'elle est sale d'aspect, aussi trouble qu'auparavant ;

4^o Il est préférable de suivre les procédés vraiment pratiques et efficaces, basés sur l'emploi du permanganate à haute dose, accompagné de coagulants insolubles.

Ce mélange, soit en poudre, soit en comprimés, ne nécessite aucune technique et peut être mis aussi entre les mains de tous. Son état solide permet de le transporter facilement ; son inaltérabilité, enfin, son grand pouvoir bactéricide, que nous avons démontré une fois de plus au cours de ce travail, font qu'il épure complètement et rapidement les eaux ; il ne laisse aucun goût. Toutefois, une filtration ou une décantation doit suivre l'épuration, si on veut avoir une eau limpide,

C'est pour ces multiples avantages que nous lui avons donné la préférence sur tous les procédés utilisés jusqu'à ce jour.

Vu, bon à imprimer :

Le Président de la thèse,

M. DELÉPINE.

Vu :

Le Directeur de l'École

H. GAUTIER.

Vu et permis d'imprimer :

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

L. LIARD.

BIBLIOGRAPHIE

Revue et Ouvrages français où nous avons puisé les documents
des Auteurs étrangers cités dans cette Thèse.

Pages.

11	MAC. LAUGLIN :	Bull. Off. Inter. Hyg. T. 5, 1913, p. 145.
12	HOFFMANN :	Revue Hyg. et Pol. Sanit. T. 27, 1905, p. 855.
12	JACKSON ET ELMS :	» » T. 20, 1898, p. 281.
19	A. GAERTNER :	» » T. 25, 1903, p. 164.
19	DE BLASI :	Bull. Off. Int. Hyg. T. 4, 1912, p. 2270.
28	WAGGENER :	Revue Hyg. et Pol. Sanit. T. 14, 1912, p. 1018.
35	ALESSANDRINI :	Bull. Off. Inter. Hyg. T. 3, 1891, p. 488.
38	KELNER :	» » T. 5, 1913, p. 1689
38	FRIESE :	» » T. 4, 1912, p. 905.
39	CARNEVALI :	Revue Hyg. et Pol. Sanit. T. 24, 1902, p. 751.
41	HEAP :	Bull. Off. Int. Hyg. T. 5, 1913, p. 2093.
42	FRANCK SEYMOUR :	» » T. 6, 1914, p. 1235.
43	SMITH :	» » T. 2, 1910, p. 1110.
43	NEISSER :	» » T. 6, 1914, p. 368.
43	RAIKOFF :	» » T. 4, 1912, p. 908.
44	J.-A. MARSDEN :	» » T. 6, 1914, p. 1957.
45	DIXON ET DELÉPINE :	» » T. 6, 1914, p. 1957.
54	MULLER :	» » T. 5, 1913, p. 1690.
54	JERMILOW :	» » T. 5, 1913, p. 872.
55	MARSSON :	» » T. 3, 1911, p. 870.
55	BUCHNER :	Revue Hyg. et Pol. Sanit. T. 14, 1892, p. 1018.
56	RICHARDSON :	» » T. 16, 1894, p. 78.
60	OKER-BLOM :	Bull. Off. Int. Hyg. T. 5, 1913, p. 1251.
60	SCHIAVONE ET TREROTOLI :	» » T. 5, 1913, p. 1228.
60	GRIMM ET WELDELT :	» » T. 3, 1911, p. 885.
60	SCHWARZ ET AUMANN :	» » T. 3, 1911, p. 1873.
60	SCHROETER :	» » T. 5, 1913, p. 331.
62	BINDI :	» » T. 7, 1915, p. 388.
64	PAGLIANI ET BERTARELLI :	Revue Hyg. et Pol. San. T. 24, 1902, p. 373.
68	BERTARELLI :	Bull. Off. Int. Hyg. T. 7, 1915, p. 1370.
73	HOOVER ET SCOTT :	» » T. 6, 1914, p. 1957.
76	ALOIS PICK :	Revue Hyg. et Pol. Sanit. T. 16, 1894, p. 78.
76	SHERIDAN, DELEPINE ET GREENWOOD :	Bull. Off. Int. Hyg. T. 7, 1915, p. 701.
77	KELLERMANN :	Bull. Off. Int. Hyg. T. 5, 1913, p. 892.
77	CAPELLANI :	Revue Hyg. et Pol. Sanit. T. 28, 1906, p. 450.
80	SCHUMBURG :	Semaine Médicale du 17 mars 1897, p. 96.
80	PFUHL :	Revue Hyg. et Pol. Sanit. T. 22, 1900, p. 739.
81	SCHUDER :	» » T. 23, 1901, p. 957.
81	AUMANN :	Bull. Off. Int. Hyg. T. 6, 1914, p. 368.
82	TARUGI ET BRAGI :	» » T. 8, 1916, p. 556.

Pages.

83	TRAUBE :	Revue Hyg. et Pol. Sanit, T. 16, 1894, p. 547.
83	BASSENGE :	» » T. 27, 1895, p. 1043.
83	LODE :	» » T. 28, 1896, p. 466.
87	JARVIS :	Bull. Off. Int. Hyg. T. 5, 1913, p. 892.
87	LEDEHRER ET BACHMANN :	» » T. 5, 1913, p. 1256.
88	WOODHEAD ET TRESH :	» » T. 6, 1914, p. 1961.
89	LISTER :	» » T. 7, 1915, p. 1028.
90	OTTOLENGHI :	» » T. 8, 1916, p. 555.
90	DARNALL :	» » T. 4, 1912, p. 524.
91	HARPER NELSON :	» » T. 7, 1915, p. 1029.
91	NESFIELD :	» » T. 7, 1915, p. 1030.
106	C. DOYEL :	» » T. 5, 1913, p. 1465.

